

Restauração da ictiofauna da bacia do Rio Doce; perspectivas e medidas aceleradoras
--

Nº Projeto: APQ-00401-19

Período do Relatório Parcial de Acompanhamento: 05/2022 a 09/2023

Início do TO: 26/05/2021 Término do TO: 25/05/2026

Linha Temática IV: Biota Aquática – Comunidade, População e Bioinvasão
--

Coordenador: Rafael Pereira Leitão

E-mail (Coordenador): ecorafa@gmail.com

Telefone (Coordenador): Celular (21) 98559-7010

Executora: UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais
--

Gestora: FUNDEP – Fundação de Desenvolvimento da Pesquisa

1. Introdução ¹

APRESENTAÇÃO

O presente relatório trata das atividades desenvolvidas ao longo do período compreendido entre 09/2022 e 09/2023. Em um contexto geral, o subprojeto de ecologia trabalhou em quatro estudos que vão desde a ecologia aplicada, até a descrição de uma espécie registrada na coleta de 2022. O subprojeto de genética precisou de ajustes devido aos atrasos no aporte financeiro do aditivo e está em fase de finalização das coletas das amostras e estabelecimento das bases laboratoriais para o sequenciamento das amostras. Criamos uma tabela ligando os trabalhos em desenvolvimento pela linha 4 e os tópicos aos quais se relacionam no projeto.

Para além dos estudos, a equipe da linha 4 tem participado também de diversas reuniões de alinhamento e dos workshops.

¹ Deve-se introduzir o problema da pesquisa, trazer bases conceituais e teóricas, incluindo bibliografia. Contém a justificativa e a pergunta da pesquisa.

Artigo	Tópico
<p>Recolonizando um rio: como a ictiofauna vem recolonizando o Rio Doce após um grande desastre?</p> <p>Em desenvolvimento</p>	<p>1. Gerar conhecimento acerca da distribuição das espécies de peixes da bacia do rio Doce e entender como os fatores abióticos afetam essa distribuição</p> <p>2. Entender como o desastre com o rompimento da barragem de Fundão afetou a ictiofauna da bacia</p>
<p>Diversidade beta de peixes na bacia do rio Doce</p> <p>Mestrado em desenvolvimento</p> <p>(Qualificação em anexo)</p>	<p>1. Gerar conhecimento acerca da distribuição das espécies de peixes da bacia do rio Doce e entender como os fatores abióticos afetam essa distribuição</p> <p>2. Entender como o desastre com o rompimento da barragem de Fundão afetou a ictiofauna da bacia</p>
<p>A New Small-Sized <i>Pareiorhaphis</i> (Siluriformes: Loricariidae) from the Manhuaçu River, Doce River Basin, Minas Gerais State, Eastern Brazil</p> <p>Submetido</p> <p>(Comprovante em anexo)</p>	<p>1. Gerar conhecimento acerca da distribuição das espécies de peixes da bacia do rio Doce e entender como os fatores abióticos afetam essa distribuição</p>
<p>Sobreposição de nicho trófico de um par de espécies nativa e não nativa na bacia do rio Doce</p> <p>Mestrado em desenvolvimento</p> <p>(Qualificação em anexo)</p>	<p>4. Entender como o desastre afetou o grupo de espécies de peixes não-nativas e seus impactos sobre as espécies nativas</p>
<p>Impacto do desastre na estrutura genética das espécies de peixes do rio Doce</p> <p>Em desenvolvimento</p>	<p>5. Determinar se houve perda significativa de diversidade genética na bacia do rio Doce</p> <p>6. Identificar estrutura populacional e fatores que a modelam</p>

RECOLONIZANDO UM RIO: COMO A ICTIOFAUNA VEM RECOLONIZANDO O RIO DOCE APÓS UM GRANDE DESASTRE?

Barragens de rejeito são estruturas construídas para armazenar a porção de material não comercial da indústria. Na mineração, elas armazenam uma miríade de compostos que dependem do minério extraído (Espósito & Duarte 2010). Não raro, essas barragens sofrem colapso e causam uma série de prejuízos ambientais e sociais (Salvador et al. 2020). Um dos casos mais emblemáticos, o rompimento da barragem de rejeitos de Fundão, em 2015, lançou mais de 30 milhões de toneladas de rejeito da extração de ferro no Rio Doce (Escobar 2015). Seus impactos foram registrados desde as áreas altas da calha do rio, até a região de Abrolhos, centenas de quilômetros distante da barragem (Coimbra et al. 2020, Salvador et al. 2022).

Um dos impactos mais evidentes desse desastre para a fauna aquática foi a massiva mortandade de peixes que ocorreu na calha do rio Doce (Neves et al. 2016). Estima-se que essa mortandade tenha sido causada pelo aumento exponencial da carga de sedimento na água, que atuou para colabar a estrutura das brânquias, e da água ter entrado em estado de anoxia por alguns dias (ANA 2016). Essa mortandade levou a um efeito devastador sobre a comunidade de peixes da calha do rio Doce, talvez tendo sido capaz de virtualmente “zerar” a comunidade. Apesar de já termos indícios de que a calha esteja sendo recolonizada e reestruturada ao longo do tempo, não temos estudos que indicam como essa recolonização está ocorrendo.

DIVERSIDADE BETA DE PEIXES NA BACIA DO RIO DOCE

A distribuição e a diversidade de espécies podem ser influenciadas pela biogeografia, por barreiras que limitam a dispersão e por interações entre os organismos (SOININEN; LENNON; HILLEBRAND, 2007; WILLIG; KAUFMAN; STEVENS, 2003). Além disso, em escala local, o estabelecimento de diferentes espécies será determinado diretamente por diferentes filtros ambientais. Ambientes heterogêneos são favoráveis para a diversidade de espécies, pois

fornece mais recursos e condições adequadas para uma maior riqueza de organismos (HEINO; MELO; BINI, 2015). Porém, as pressões antrópicas tendem a homogeneizar o ambiente em função de diversos processos, como as alterações da paisagem, perda de habitat, introdução de espécies, dentre outros. Com isso, é esperada uma relação negativa entre as pressões antrópicas e a biodiversidade, mediada pela perda de heterogeneidade ambiental nos ecossistemas.

Para a biota aquática, essas mudanças interferem no seu modo de vida, alimentação e reprodução (HOCKLEY et al., 2014), o que afeta a composição da comunidade e abundância de espécies (AGOSTINHO et al., 2016). Dessa forma, a redução da heterogeneidade ambiental beneficia espécies generalistas e oportunistas, abrindo caminho para as espécies não nativas se estabelecerem e que as espécies nativas sejam extirpadas (CRUZ; POMPEU, 2020). Assim, a homogeneização ambiental e a influência humana podem ser refletidas em diferentes escalas da quantificação da biodiversidade, tanto na riqueza local (diversidade alfa) quanto na riqueza regional total (gama), assim como nas diferenças composicionais entre locais (diversidade beta) (HEWITT et al., 2010; SOCOLAR et al., 2016).

A utilização da diversidade beta nos permite compreender a maneira como as comunidades de diferentes pontos estão estruturadas e nos fornece informações sobre a variação e o padrão de distribuição das espécies entre os locais (BASELGA, 2010; SOININEN; LENNON; HILLEBRAND, 2007). Ela aponta a diferença dentro de dois processos: o turnover, que não afeta a riqueza, pois ocorre a substituição da espécie por outra; e o aninhamento, que altera a riqueza por perda ou ganho de espécies (BASELGA, 2010).

Em 2015 ocorreu o que dizem ser o maior desastre ambiental brasileiro, o rompimento da barragem de Fundão, que retinha rejeitos da mineração de ferro em Mariana/MG. Cerca de 43 milhões de m³ de rejeitos da mineração foram despejados no Rio Doce, o que gerou uma enxurrada de lama contaminada que chegou até o mar, deixando um rastro de destruição por onde passava (CARMO et al., 2017). Os reflexos desses impactos puderam ser vistos quase que

imediatamente, pois a passagem da lama elevou a concentração de sedimentos e turbidez e proporcionou uma queda abrupta do oxigênio, o que causou a morte de toneladas de peixes e outros organismos (NEVES et al., 2016). Os impactos desse desastre ainda estão sendo quantificados, mas é esperado que tenham ocorrido de maneira diferenciada ao longo da bacia. Por exemplo, pode-se considerar que a calha do Rio Doce, onde a lama de fato passou, sofreu impacto direto, enquanto seus afluentes (onde a lama não passou) sofreram impactos indiretos.

A NEW SMALL-SIZED *PAREIORHAPHIS* (SILURIFORMES: LORICARIIDAE) FROM THE MANHUAÇU RIVER, DOCE RIVER BASIN, MINAS GERAIS STATE, EASTERN BRAZIL

An ichthyological survey in 2007 and 2008 conducted by one of the authors (TCP) in the Manhuaçu River, Doce River basin, revealed a series of unusual specimens of a loricariid catfish attributable to the genus *Pareiorhaphis* according to the definition of Pereira & Reis (2017). The fish were collected at a waterfall named Cachoeirão in Alvarenga municipality of Minas Gerais State, which has very strong water current running over flat bedrock and relatively transparent, clear water. This sample was only obtained because the main river bed had very low water conditions, as the Manhuaçu River had been temporarily diverted for the construction of a hydroelectric power plant. The initial examination of these specimens suggested they represent a small sized, undescribed form, increasing the genus diversity to 29 species.

Additional collecting efforts for the present study occurred during August 2022, when a second expedition was conducted in the area by the same collector (TCP) and colleagues from the UFMG. The new sample obtained from the nearby Padre Ângelo Creek includes males, females, and juveniles of different life stages, which display diagnostic features supporting a more accurate taxonomy and providing the foundations for the description of new species.

Herein, a complete morphological analysis of those specimens is presented and a new species of *Pareiorhaphis* is described.

SOBREPOSIÇÃO DE NICHOS TRÓFICOS ENTRE UM PAR DE ESPÉCIES NATIVA E NÃO NATIVA NA BACIA DO RIO DOCE

As invasões biológicas são apontadas como uma das principais ameaças à biodiversidade mundial, sendo uma causa mundial de extinção de espécies (Meyerson et al., 2019). O aumento da taxa de introdução de espécies não nativas é uma das principais mudanças globais causadas pelo homem, seja acidental ou deliberadamente por meio de agricultura, pesca esportiva, aquicultura, dentre outros vetores (Vitule e Prodocimo, 2012). As espécies não nativas detêm algumas habilidades importantes para ocupar o ambiente invadido, por exemplo, um rápido crescimento populacional e alta taxa de fecundidade (Wootton, 1998; Kolar e Lodge, 2000; Spínola e Ferreira Julio Junior, 2007). Quando as espécies não nativas estão sujeitas às mesmas condições ambientais das nativas, poderão utilizar recursos semelhantes. A interação entre elas pela utilização dos mesmos recursos tem potencial de torná-las competidoras (Tuomisto e Ruokolainen, 1997; Losos, 1995; Silva, 2012). O estabelecimento de espécies não nativas também é impulsionado por alterações de paisagem (e.g., agricultura, pastagem, urbanização, mineração). Com as mudanças das condições ambientais, pode haver redução de recursos, que potencializam a competição entre espécies nativas e não nativas (Chapin et al., 2000; Souza, 2022).

Os ecossistemas aquáticos são um exemplo de ambientes alterados ao longo do tempo em todo o mundo por introdução de espécies não nativas. Um grupo altamente diverso e que tem sido muito comprometido pelas alterações nos ambientes aquáticos são os peixes de água doce (Dudgeon et al., 2006; Vitule et al., 2009; Leal et al., 2021). Espécies de peixes invasores são responsáveis por impactos ecológicos em múltiplos níveis de organização biológica (e.g., ecossistema, comunidade, população e indivíduo). Essas espécies podem modificar as interações ecológicas, a estrutura do habitat, dos ciclos

biogeoquímicos e causar alterações genéticas (e.g., hibridização e introgressão de genes). Além disso, podem mudar o comportamento e a morfologia de espécies nativas e transmitir patógenos, provocando redução severa de comunidades naturais, e em alguns casos, extinção de muitas das espécies nativas (Cucherousset, Olden, 2011). Portanto, entender como espécies não nativas interagem com espécies nativas ao longo do processo de invasão é de fundamental importância para aprimorar o entendimento dos mecanismos fundamentais do processo da invasão biológica (Crooks, 2005; Vitule e Prodocimo, 2012).

A Bacia do Rio Doce é um local intensamente explorado e modificado ao longo dos séculos, por atividades humanas e alterações de paisagem, incluindo a introdução de espécies não nativas com relatos de presença dessas espécies desde a década de 70 (Godinho, 1996). Localizada na Mata atlântica, bioma mais fragmentado do Brasil, em 2015 sofreu com um dos maiores desastres ambientais da história, o rompimento da barragem de rejeitos de mineração de Fundão, com efeitos negativos na calha principal do rio desde a cabeceira até a foz (Salvador et al., 2020; Souza, 2022). Outro importante impulsionador para o estabelecimento das espécies invasoras.

Um exemplo de espécies não nativa e nativa ecologicamente e/ou troficamente semelhantes, são a *Knodus moenkhausii* (Eigenmann & Kennedy 1903) e a *Deuterodon cf. taeniatus* (Jenyns 1842), amplamente distribuídas na Bacia do Rio Doce. *Knodus moenkhausii* é considerada invasora na bacia do Rio Doce. Além da alta pressão de propágulo, é uma espécie oportunista e pode tolerar ambientes degradados (Vitule et al. 2009, Carvalho et al., 2017; Carvalho et al., 2019a, Carvalho et al., 2019b; Bueno et al., 2021), o que aumenta a probabilidade de estabelecimento e dispersão. É também oportunista quanto ao uso dos recursos alimentares, sendo os de maior representatividade insetos terrestres, larvas e ninfas aquáticas de insetos, seguido de itens de origem desconhecida, como matéria orgânica e ovos de invertebrados (Ceneviva-Bastos & Casatti, 2007). Apresenta seletividade alimentar com capacidade de alterar o nicho trófico, dependendo das condições ambientais (Carvalho et al., 2019^a). *Deuterodon cf. taeniatus* é uma espécie nativa amplamente distribuída

na bacia do Rio Doce. Apresenta hábito alimentar onívoro e oportunista, com alta plasticidade alimentar (Manna et al., 2012). A dieta consiste principalmente de insetos alóctones e plantas terrestres, sendo que os animais adultos consomem maior quantidade de matéria vegetal do que os jovens (Manna et al., 2012). Apesar da dieta de ambas as espécies ser relativamente bem conhecida, é importante entender como essas espécies ecologicamente e morfologicamente semelhantes utilizam os recursos quando partilham o mesmo ambiente. Ambas são espécies de pequeno porte, com corpo alongado, boca terminal e pertencem à família Characidae.

2. Objetivos geral e específicos ²

RECOLONIZANDO UM RIO: COMO A ICTIOFAUNA VEM RECOLONIZANDO O RIO DOCE APÓS UM GRANDE DESASTRE?

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a condição ecológica da ictiofauna sob a perspectiva da recolonização do rio Doce e como os parâmetros físico-químicos e estruturais do rio vêm atuando na reestruturação da comunidade de peixes. Para isso, temos como premissa que a calha tenha passado por um processo de recolonização linear, ou seja, esperamos que o tempo avaliado não tenha sido suficiente para a estabilização das curvas dos parâmetros de diversidade, ou que a recolonização tenha passado por um processo de recolonização não linear, ou seja, esperamos que o tempo não foi suficiente, mas que não há uma tendência linear no incremento dos parâmetros de diversidade dada a influência de fatores afetando esse incremento.

DIVERSIDADE BETA DE PEIXES EM RIOS DA BACIA DO RIO DOCE

Compreender a atual situação da comunidade de peixes na Bacia do Rio Doce é importante para que sejam desenvolvidas estratégias eficazes de conservação e proteção da biodiversidade desse ecossistema. Com base nisso,

² Informar a descrição dos objetivos conforme plano de trabalho pactuado.

busca-se responder à pergunta: l) Qual a diferença na composição das espécies de peixes entre a calha e os afluentes? Nossa hipótese é que a diversidade beta na calha do Rio Doce é menor do que nos afluentes, visto que a calha se tornou mais homogênea após o rompimento da barragem e os afluentes não foram totalmente afetados.

A NEW SMALL-SIZED *PAREIORHAPHIS* (SILURIFORMES: LORICARIIDAE) FROM THE MANHUAÇU RIVER, DOCE RIVER BASIN, MINAS GERAIS STATE, EASTERN BRAZIL

A complete morphological analysis and description of the *Pareiorhaphis* collected in the Rio Manhuaçu.

SOBREPOSIÇÃO DE NICHOS TRÓFICOS ENTRE UM PAR DE ESPÉCIES NATIVA E NÃO NATIVA NA BACIA DO RIO DOCE

Compreender como as espécies de peixes não nativas estão afetando as nativas ao longo do processo de invasão em escala de bacia é muito importante para aprimorar o conhecimento dos mecanismos fundamentais do processo de invasão. Com isso, o objetivo do estudo consiste em quantificar sobreposição de nicho trófico em diferentes níveis de degradação ambiental do par de espécies nativa (*Deuterodon cf. taeniatus*) e não nativa (*Knodus moenkhausii*) na bacia do Rio Doce. Esperamos observar alta sobreposição de nicho trófico entre o par de espécies não nativa e nativa e essa sobreposição será maior em ambientes mais degradados.

3. Material e Métodos (cumulativo de todo o período executado) ³

RECOLONIZANDO UM RIO: COMO A ICTIOFAUNA VEM RECOLONIZANDO O RIO DOCE APÓS UM GRANDE DESASTRE?

A bacia do Rio Doce é uma das mais importantes bacias hidrográficas da ecorregião aquática Mata Atlântica Nordeste, drenando uma área de aproximadamente 83.400 km² e fluindo por aproximadamente 600 km antes de atingir o Oceano Atlântico (Vieira 2009). Em seu médio curso, que apresenta 315 km de extensão entre a confluência do Rio Matipó e a divisa do Espírito Santo, foi instalada a hidrelétrica de Baguari (UHE), no município de Governador Valadares, MG (Vieira 2009).

As coletas de peixes foram iniciadas dois meses após o rompimento, em janeiro de 2016, e se estenderam até julho de 2018 (Figura 1). Durante esse período, amostramos a região da UHE Baguari mensalmente, totalizando 30 meses amostrados. Em cada mês nós amostramos o reservatório da hidrelétrica nas proximidades da barragem, e o rio Doce logo à jusante da barragem. Em cada local nós armamos um conjunto de redes de emalhar com malhas que variavam de 3 a 16 cm (entre nós opostos). As redes foram armadas no final da tarde e retiradas no começo da manhã do dia seguinte, perfazendo um total de aproximadamente 15 h submersas. Os exemplares foram identificados ainda em campo e as dúvidas taxonômicas foram sanadas utilizando trabalhos taxonômicos das espécies conhecidas para a região, tendo como base a lista de espécies presente em Drummond et al. (2021).

Parâmetros físico-químicos foram obtidos no programa de monitoramento da qualidade de água do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM). Para o nosso estudo, selecionamos parâmetros que podem afetar a distribuição das espécies de peixes, como concentração de Clorofila, condutividade e turbidez. Normalmente os parâmetros são medidos trimestralmente, porém, após o

³ Explicitar os métodos de coleta, área de estudo e estações de coleta de campo, análises laboratoriais e de análise de dados.

desastre, uma força-tarefa emergencial realizou medições mensalmente ao longo da calha do Rio Doce (IGAM 2023b). Foram utilizados os dados da estação RD44, localizada a montante do município de Governador Valadares. Esta estação fica a 50 km de nossos locais de amostragem, e a escolhemos porque não há afluentes capazes de alterar os parâmetros desembocando neste trecho. Também obtivemos a vazão da mesma localidade onde os peixes foram coletados. Utilizamos a estação do projeto Hidroweb da Agência Nacional das Águas (ANA) 56849000, localizada na Hidrelétrica Baguari (ANA 2023).



Figura 1. Mapa de localização do estudo de recolonização dos peixes na bacia do rio Doce.

Com o intuito de avaliar a variação temporal dos índices de diversidade, aqui traduzidos em riqueza e abundância das espécies, testamos dois diferentes modelos frente aos seus valores de AIC. Para isso, confrontamos os modelos lineares contra modelos aditivos generalizados, utilizando o tempo como variável preditiva e riqueza de espécies e abundância total como variáveis resposta. Também testamos esses índices frente a potenciais fatores preditores. Para isso, utilizamos os parâmetros físico-químicos descritos anteriormente. Uma seleção prévia foi realizada com o intuito de eliminar parâmetros com baixa variação ou correlacionados. Também testamos a variação na composição ao longo do tempo. Para isso, utilizamos um modelo linear generalizado multivariado e as métricas e espécies significativas foram correlacionadas através de uma correlação de Spearman (r_s). Os dados foram trabalhados de forma separada entre o reservatório e o rio dada a resposta distinta da ictiofauna frente às distintas seções de um reservatório (Agostinho et al. 2016, Salvador et al. 2022).

DIVERSIDADE BETA DE PEIXES EM RIOS DA BACIA DO RIO DOCE

Área de estudo

A bacia do rio Doce possui uma área de drenagem de aproximadamente 83 mil km² distribuídas entre os estados de Minas Gerais (86%) e Espírito Santo (14%) (Vieira 2009). Seu clima pode ser classificado entre o “Subtropical de Altitude” (Cwb) nas partes mais altas até o “Tropical Equatorial” (Af) em sua foz, sendo o clima “Tropical Savânico” (Aw) o dominante da bacia (Alvares et al. 2013).

O rio Doce nasce da confluência dos rios Carmo e Piranga, na cidade de Alto Rio Doce, Minas Gerais (Vieira 2009). Possui extensão de 853 km e recebe importantes afluentes ao longo de seu curso, como os rios Casca, Matipó, Piracicaba, Santo Antônio e Manhuaçu. Pode ser subdividido entre os trechos alto, que vai até a foz do rio Matipó, médio, que vai até a divisa dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, e baixo, que vai até a foz no Oceano Atlântico

(Vieira 2009). Em toda a sua extensão apresenta elevada variação de características ambientais, com segmentos de água rápida se concentrando no trecho alto e parte do trecho médio, e segmentos de águas lentas no médio e baixo. Algumas cachoeiras importantes estão presentes em seu curso, como a cachoeira Escura e a cachoeira da Ponte Queimada. O rio Doce foi afetado pelo rompimento da barragem de rejeitos de Fundão ao longo de todo o seu curso, sendo que a porção situada no trecho alto foi a mais severamente impactada.

Além do rio Doce, os rios Gualaxo do Norte e Carmo também foram afetados pelo rompimento de Fundão. No primeiro, o rompimento afetou quase que a totalidade de seu curso, e no segundo, atingiu a porção final. O rio Gualaxo do Norte é um dos principais afluentes do rio Carmo, que por sua vez, é um dos formadores do rio Doce. Além desses dois rios afetados, o projeto também irá contemplar amostragens nas principais sub-bacias do rio Doce em Minas Gerais, a saber: Piranga, Casca, Matipó, Piracicaba, Santo Antônio, Corrente-Grande, Suaçuí-Grande, Caratinga e Manhuaçu.

Seleção dos pontos amostrais

A coleta ocorreu no período de estiagem de 2022 ao longo de 45 pontos amostrais. Os pontos foram sorteados através do pacote spsurvey do programa R (Kincaid et al. 2015). O emprego desse pacote permite sortear os pontos amostrais de forma balanceada de acordo com critérios pré-estabelecidos. No caso das nossas amostragens, foi adotado como critério de balanceamento a ordem dos rios da bacia, sendo utilizados somente os rios cuja ordem se iguala ou ultrapassa a sexta ordem de Strahler. Foram sorteados 45 pontos de amostragem ao longo do rio Doce e de todos os seus grandes afluentes (Figura 2). Desse total, 12 estão em área afetada pelo rompimento da barragem de rejeitos de Fundão, e os demais em rios não afetados por esse desastre.

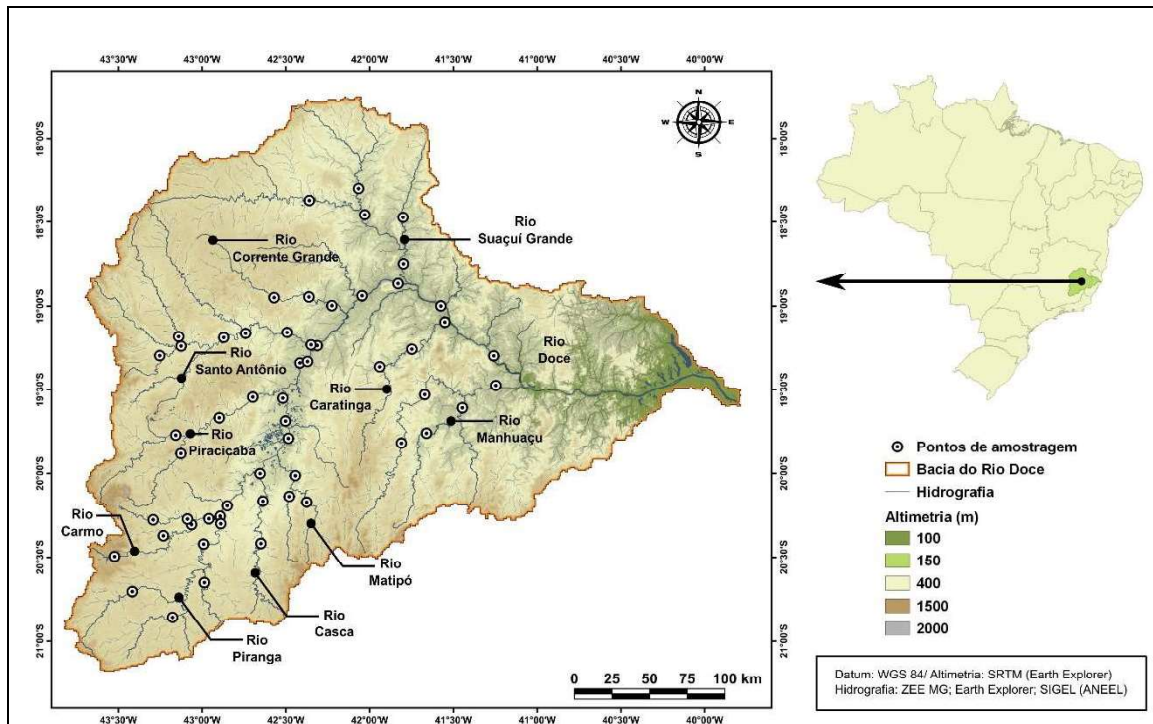


Figura 2. Distribuição espacial dos pontos de amostragem da ictiofauna ao longo da bacia do rio Doce em seu trecho mineiro.

Parâmetros Ambientais

Uso de solo (etapa ainda pendente)

As características de uso do solo podem influenciar os atributos ambientais de uma determinada área (Montag et al. 2018). Para avaliar o efeito dos diferentes padrões de uso de solo sobre as características locais dos trechos amostrados, utilizaremos os dados presentes no projeto MapBiomas (Souza et al. 2020). Calcularemos a bacia à montante do ponto de coleta utilizando o software Qgis e posteriormente calcularemos a proporção do uso de solo de acordo com as seguintes classes: área urbana, agricultura, pastagem, mineração, vegetação nativa e água.

Variáveis locais

As variáveis locais foram obtidas através do emprego do protocolo de rios navegáveis da agência ambiental americana (EPA) (Peck et al. 2006). Para isso, ficou definido um trecho de coleta que variou entre 1 e 2 km, a depender da largura molhada do rio. Cada ponto foi subdividido em 10 seções e 11 transectos equidistantes, onde foram obtidas um conjunto de características do habitat

físico, como características e proporção do tipo de substrato (e.g. cascalho grosso, cascalho fino, areia, banco de folhas), profundidade, tipo e proporção de abrigos para peixes (e.g. macrófitas, raízes, pedaços de madeira, banco de folhas, matacão), cobertura de dossel, ângulos das margens, largura molhada e largura do leito sazonal do rio. Previamente à obtenção das medidas dentro do leito, parâmetros físico-químicos, como temperatura, turbidez e oxigênio dissolvido, foram mensurados da margem.

Coleta da ictiofauna

Em cada ponto foram instalados de um a dois jogos de redes de espera com tamanhos de malha que variam de 2,4 a 16 cm medidos entre nós opostos. As redes possuem 10 m de comprimento e altura variando entre 1,15 e 2,40 m, a depender do tamanho de malha. Os conjuntos foram instalados no final da tarde e retiradas na manhã do dia seguinte, perfazendo aproximadamente 15 horas de permanência na coluna d'água. Como metodologia adicional, visando capturar indivíduos de menor porte, foram utilizados arrastos de tela mosquiteira (1,5 x 3 m) e peneira em locais coincidentes com as parcelas de variáveis ambientais, sendo estabelecido 12 min por seção em cada ponto. A adição de metodologias complementares visa o registro de um maior número de espécies no ambiente estudado, uma vez que cada petrecho de pesca apresenta seletividade. Os peixes coletados foram separados por ponto, segmento e petrecho, incluindo a identificação de malha para as redes de emalhar. Os exemplares foram eutanasiados com uso de eugenol e fixados em solução de formalina a 10%. Em laboratório, os peixes foram identificados utilizando bibliografia especializada, como Britski et al. (1988) e Vieira et al. (2015). Para maior certeza taxonômica, exemplares de espécies consideradas críticas para identificação, como *Trichomycterus* spp., foram levados para especialistas.

Análise de dados (etapa ainda pendente)

Utilizaremos uma análise de redundância (RDA) para determinar o efeito de cada variável ambiental sobre a dissimilaridade das comunidades (diversidade beta). Os dados de abundância serão previamente logaritmizados e a matriz de

dissimilaridade será obtida pelo coeficiente de Bray-Curtis. A significância desse teste será avaliada por uma análise de variância (Legendre and Legendre 2012).

A NEW SMALL-SIZED *PAREIORHAPHIS* (SILURIFORMES: LORICARIIDAE) FROM THE MANHUAÇU RIVER, DOCE RIVER BASIN, MINAS GERAIS STATE, EASTERN BRAZIL

Morphometric data were obtained from point-to-point measurements with a precision to the nearest 0.1 mm with digital calipers under a stereomicroscope, according to Pereira et al. (2007). Standard length (SL) is expressed in millimeters while all other measurements are given as percent of standard length or head length (HL). Vertebral counts comprise all vertebrae, including five centra incorporated into the Weberian Apparatus and the compound caudal centrum (PU1+U1) counted as one element according to Lundberg & Baskin (1969). Nomenclature and counts for body plates follow Schaefer (1997). Counts of procurrent caudal-fin rays and vertebrae were taken from four cleared and counterstained specimens (CS) prepared according to Taylor & Van Dyke (1985) procedure. In the list of type-material, museum abbreviation and catalog number come first, followed by the number and SL range of specimens in that lot, number of specimens measured for the morphometric comparisons in parentheses, locality, date of collection, and collectors.

Comparative material of *Pareiorhaphis* species is listed in Pereira et al. (2012), with the addition of *Pareiorhaphis lophia* in Pereira & Zanata (2014), *P. proskynita* in Pereira & Britto (2012), *P. garapia* in Pereira et al. (2015), *P. vetula* in Pereira et al. (2016), *P. lineata* and *P. stephana* in Pereira et al. (2017), *P. mucurina* in Pereira et al. (2018), and *P. pumila* in Pereira & Reis (2022). Specimens examined belong to institutions whose acronyms are listed in Sabaj (2020). Conservation status of the new species was evaluated according the categories and criteria of the International Union for Conservation of Nature (IUCN Standards and Petitions Subcommittee, 2022).

SOBREPOSIÇÃO DE NICHOS TRÓFICOS ENTRE UM PAR DE ESPÉCIES NATIVA E NÃO NATIVA NA BACIA DO RIO DOCE

As etapas de obtenção de dados em campo são coincidentes com o trabalho anterior.

Análise de sobreposição de dieta (etapa em andamento)

A análise do conteúdo estomacal dos espécimes está realizada em laboratório, de acordo com o método de Kawakami e Vazzoler (1980), pela frequência que determinado item foi consumido e o volume em (%) para obtenção do índice alimentar de cada item (IA_i). É obtido o comprimento padrão (cm) e o peso (g) de todos os indivíduos, utilizando paquímetro digital e balança de precisão. O estômago dos exemplares foi retirado através de uma incisão abdominal que se inicia na abertura anal e termina próximo à região das nadadeiras peitorais. Em seguida, são realizadas medidas do comprimento do TGI (trato gastrointestinal) e do estômago (cm) com paquímetro digital, e do peso do estômago (g) com balança de precisão. Os estômagos são colocados em uma placa de vidro contendo solução de álcool (70%), sendo anotado o grau de repleção, e os itens alimentares são examinados com o auxílio de uma lupa e identificados até a categoria de ordem e/ou família, quando possível. Além disso, são contabilizados materiais vegetais, fragmento de insetos alóctones e autóctones, detritos inorgânicos, microplásticos, entre outros. Após identificação dos conteúdos estomacais, é realizada a separação e contagem dos itens para o cálculo do volume (mm³). A partir dos dados de volume e frequência de ocorrência de cada item alimentar, será calculado o índice de importância alimentar e, em seguida, o índice de sobreposição entre a dieta de *Knodus moenkhausii* e *Deuterodon cf. taeniatus*.

ORGANIZAÇÃO DO MATERIAL PARA AS QUESTÕES ENVOLVENDO O SUBPROJETO DE GENÉTICA

Triagem e organização do banco de tecidos

Para atender a um dos objetivos do projeto, que é a avaliação da diversidade genética da ictiofauna do rio Doce no período pré e pós desastre, a equipe de genética do Projeto Ictiodoce realizou a organização e triagem de material do banco de tecidos da PUC-MG, coordenado pelo Prof. Daniel Cardoso de Carvalho, visando a extração de DNA das espécies-alvo do projeto para avaliar a diversidade genética no período pré-desastre. Na Tabela 1, encontram-se as localidades de amostras de tecidos do banco separadas por ano de amostragem para *Loricariichthys castaneus*, *Hypostomus affinis* e *Delturus carinotus*.

Tabela 1: localidades das amostras de *L. castaneus*, *Hypostomus affinis* e *Delturus carinotus* provenientes do banco de tecidos da PUC-MG, com relação ao ano de coleta e à situação (pré e pós-desastre). As linhas coloridas referem-se às localidades: Baguari (verde), Periquito/Naque (amarelo), Corrente Grande (violeta), São José do Mantimento (vermelho), e Guanhães (azul)

Espécies do banco de tecidos	Localidade	Número de Individuos	Ano	Pré ou pós-desastre
<i>Loricariichthys castaneus</i>	Reservatório UHE Baguari, calha Rio Doce	7	2013	Pré-desastre
	Reservatório UHE Baguari, calha Rio Doce	6	2017	Pós-desastre
	Periquito - calha Rio Doce	6	2012	Pré-desastre
	Periquito - calha Rio Doce	7	2013	Pré-desastre
	Naque - Calha Rio Doce	1	2012	Pré-desastre
	Naque - Calha Rio Doce	3	2013	Pré-desastre
	Periquito - calha Rio Doce	6	2017	Pós-desastre
	São José do Mantimento-Rio José Pedro	2	2014	Pré-desastre
	Conceição de Ipanema - Rio José Pedro	1	2013	Pré-desastre
<i>Hypostomus affinis</i>	Reservatório UHE Baguari, calha Rio Doce	10 (obs: 5 amostras com tecido aparentemente ruim)	2011	Pré-desastre
	Reservatório UHE Baguari, calha Rio Doce	4	2013	Pré-desastre
	Reservatório UHE Baguari, calha Rio Doce	32	2017	Pós-desastre

	Periquito - calha Rio Doce	1	2011	Pré-desastre
	Naque - calha Rio Doce	4 (obs: 4 amostras com tecido aparentemente ruim)	2011	Pré-desastre
	Naque - calha Rio Doce	1	2013	Pré-desastre
	Periquito - calha Rio Doce	1	2017	Pós-desastre
	rio José Pedro	6	2012	Pré-desastre
	Chalé - Rio José Pedro	5	2013	Pré-desastre
	São José do Mantimento, Rio José Pedro	5	2012	Pré-desastre
	São José do Mantimento, Rio José Pedro	7	2013	Pré-desastre
	rio José Pedro	6	2014	Pré-desastre
<i>Delturus carinotus</i>	Reservatório UHE Baguari, calha Rio Doce	2	2012	Pré-desastre
	Reservatório UHE Baguari, calha Rio Doce	12	2013	Pré-desastre
	rio José Pedro	5	2012	Pré-desastre
	Chalé - Rio José Pedro	4	2012	Pré-desastre
	Chalé - Rio José Pedro	3	2013	Pré-desastre
	São José do Mantimento, Rio José Pedro	5	2013	Pré-desastre
	São José do Mantimento, Rio José Pedro	7	2014	Pré-desastre
	Dores de Guanhões, Rio Guanhões - reservatório	23	2014	Pré-desastre
	Dores de Guanhões, Rio Guanhões	8	2014	Pré-desastre
	Dores de Guanhões, Rio Guanhões	49	2015	Pré-desastre
	Guanhões, Rio Guanhões	5	2014	Pré-desastre

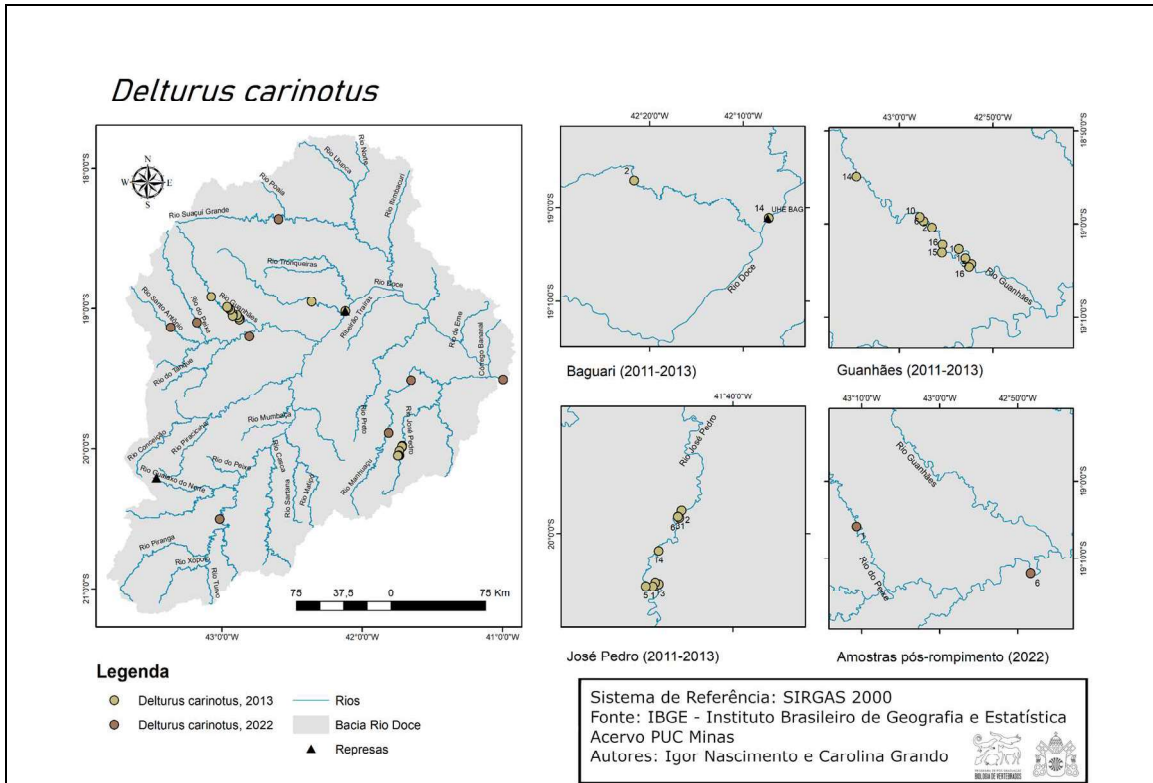


Figura 3. Pontos de amostragem da espécie *Delturus carinotus* na bacia do rio Doce, antes e após o rompimento da barragem de Fundão.

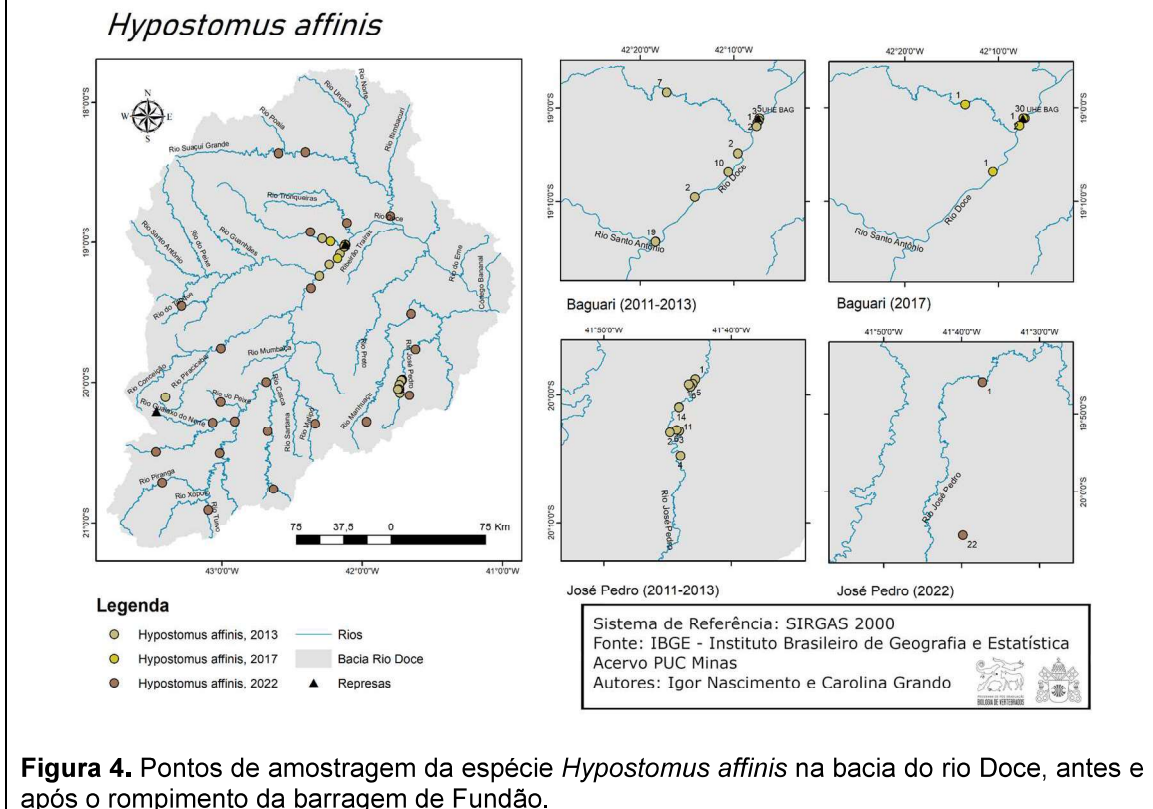


Figura 4. Pontos de amostragem da espécie *Hypostomus affinis* na bacia do rio Doce, antes e após o rompimento da barragem de Fundão.

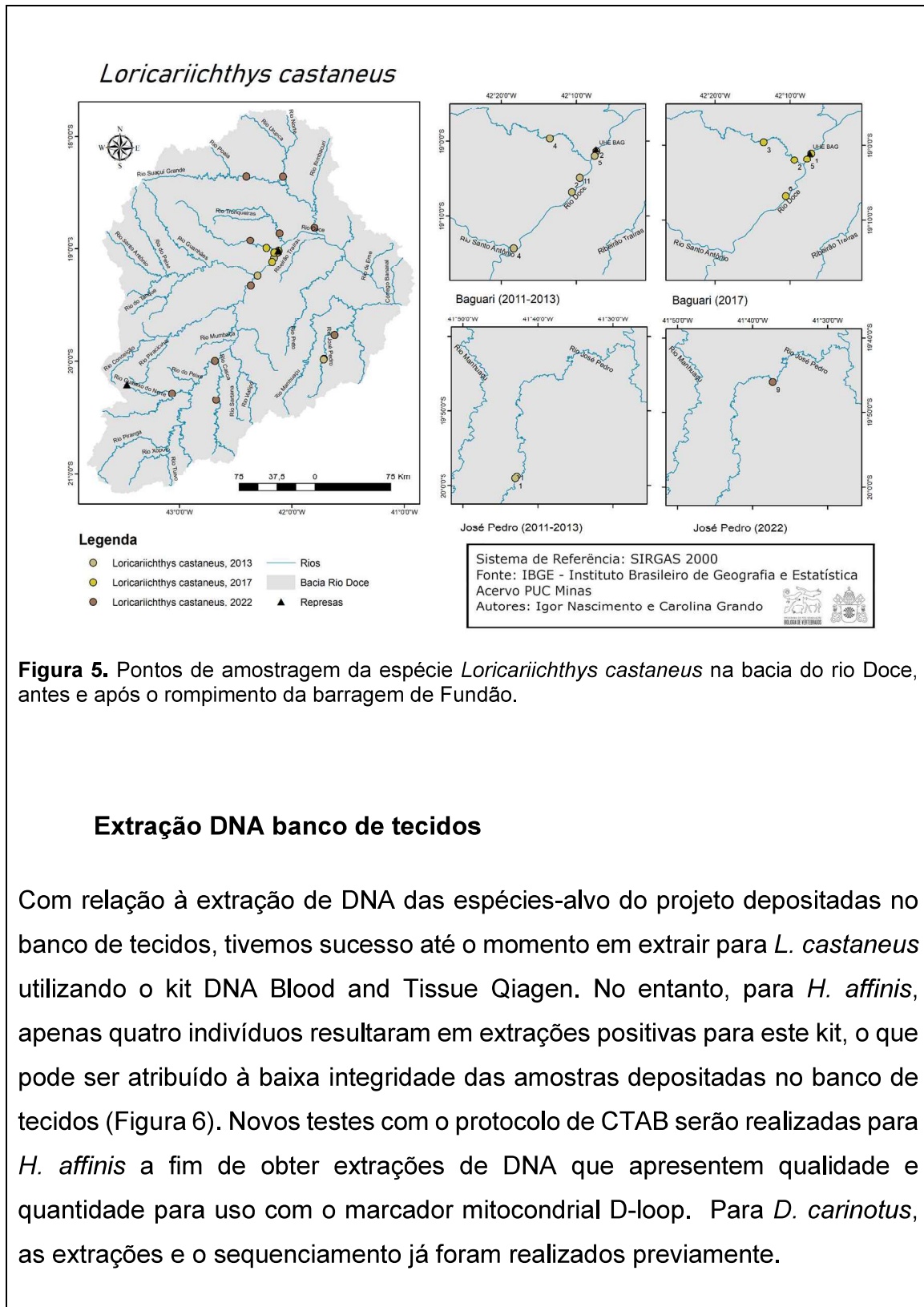


Figura 5. Pontos de amostragem da espécie *Loricariichthys castaneus* na bacia do rio Doce, antes e após o rompimento da barragem de Fundão.

Extração DNA banco de tecidos

Com relação à extração de DNA das espécies-alvo do projeto depositadas no banco de tecidos, tivemos sucesso até o momento em extrair para *L. castaneus* utilizando o kit DNA Blood and Tissue Qiagen. No entanto, para *H. affinis*, apenas quatro indivíduos resultaram em extrações positivas para este kit, o que pode ser atribuído à baixa integridade das amostras depositadas no banco de tecidos (Figura 6). Novos testes com o protocolo de CTAB serão realizadas para *H. affinis* a fim de obter extrações de DNA que apresentem qualidade e quantidade para uso com o marcador mitocondrial D-loop. Para *D. carinotus*, as extrações e o sequenciamento já foram realizados previamente.

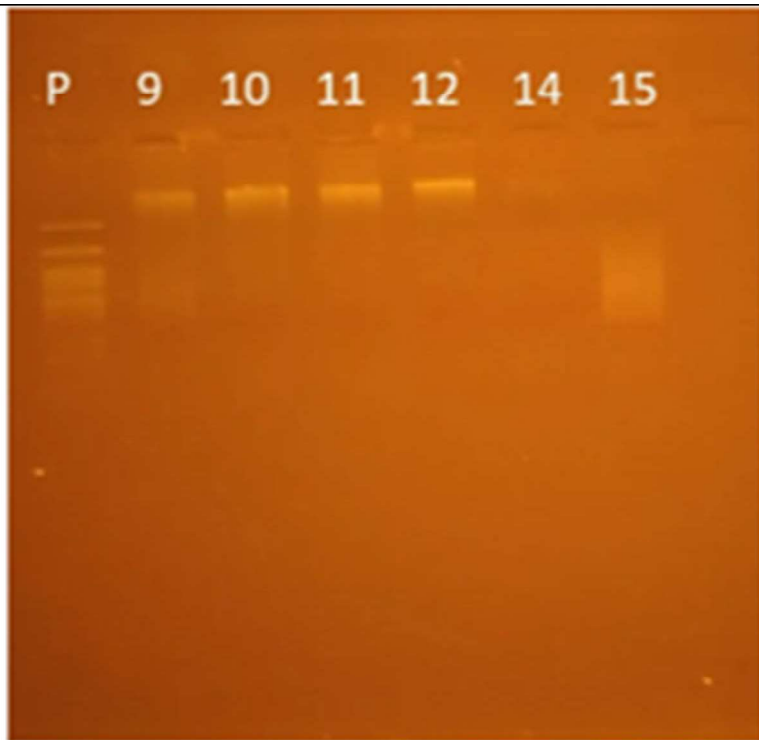


Figura 6. Extração DNA de *H. affinis* utilizando o kit DNA Blood and Tissue Qiagen, onde as amostras 9, 10, 11 e 12 apresentaram extrações positivas

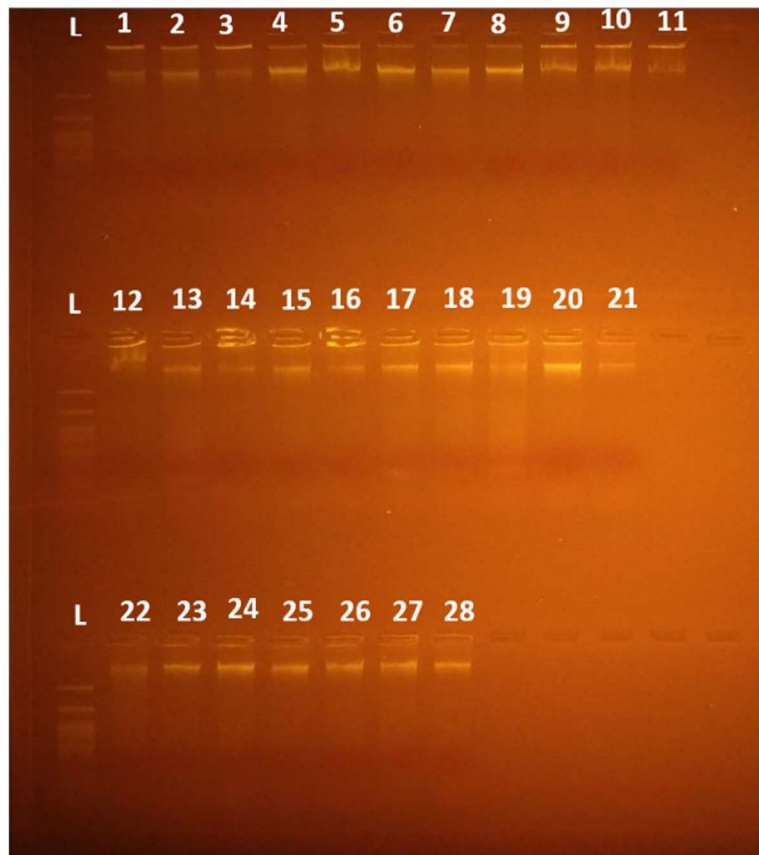


Figura 7. Extração DNA de *L. castaneus* utilizando o kit DNA Blood and Tissue Qiagen, onde todas as amostras apresentaram extrações positivas

Otimização de *primers* D-loop para *L. castaneus*

Após uma série de vários testes de otimização de temperatura de anelamento dos *primers* D-loop para *L. castaneus*, em que dois pares de *primers* foram utilizados: L1-5'-CCTAACTCCCAAAGCTAGGTATTC-3'; H1- 5'-TGTTTATCACTGCTGRRTTCCCT-3' (Santa Brigida et al, 2007), e L-5'-AGAGCGTCGGTCTTGTAACC-3'; H16- 5'-CCTGAAGTAGGAACCAGATG-3' (Meyer et al., 1990), decidimos enviar algumas amostras com amplificação positiva para o sequenciamento.

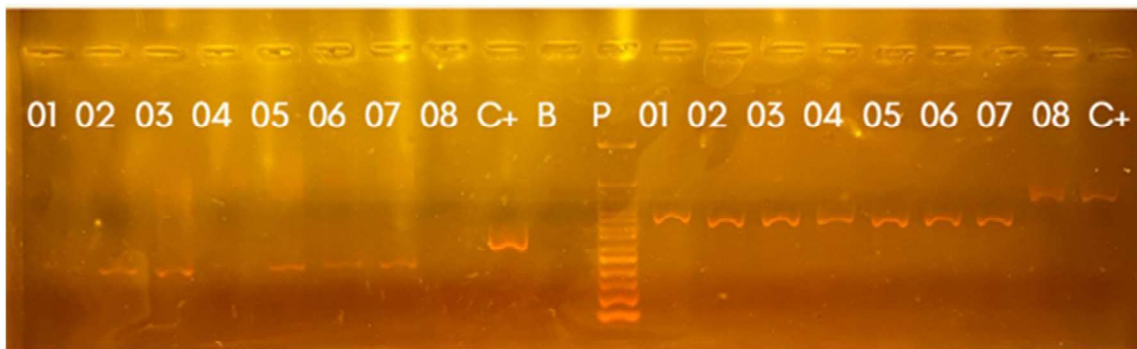


Figura 8. Gel de agarose 1,5% da PCR para *L. castaneus* com dois pares de *primers* D-loop (L-H16 à esquerda, e L1-H1 à direita). Os indivíduos 02 e 03 amplificados para ambos os marcadores, bem como o indivíduo 4 amplificado com o L1-H1 foram enviados para o sequenciamento do tipo Sanger.

Sequenciamento de fragmento amplificado D-loop para *L. castaneus*

Como resultados do sequenciamento, obtivemos sequências de qualidade ótima para os indivíduos 02, 03 e 04 provenientes do sequenciamento dos *primers* L1-H1.

Com as sequências do primer L1-H1, fizemos uma busca no NCBI para obter sequências da região D-loop para *L. castaneus*, com o objetivo de avaliar a similaridade das 3 sequências que obtivemos. Contudo, a sequência depositada no NCBI (código KT239015.1) apresentava apenas 90 pb para a região D-loop, enquanto nossas sequências apresentaram cerca de 700 pb. Ao alinhar as sequências, não foi possível observar o alinhamento de todas as sequências, assim que resolvemos não prosseguir com a análise de diversidade genética

para *L. castaneus* usando este primer H1-L1, e sim utilizar o DNA para análise genômica da espécie.

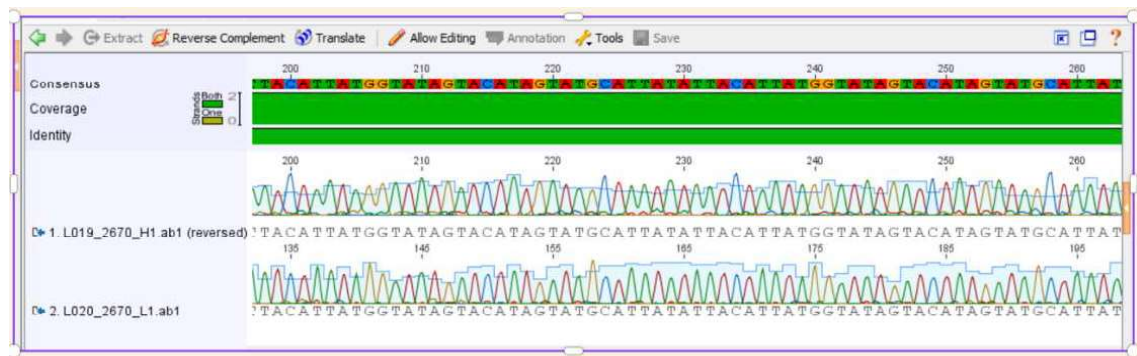


Figura 9. Eletroferogramas provenientes do sequenciamento do tipo Sanger com dois pares de *primers* D-loop (L1-H1 acima e L-H16 abaixo), onde é possível observar a ótima qualidade de sequenciamento do par de primer L1-H1 (picos separados e bem definidos), enquanto para o par de primer e L-H16 observa-se sobreposição de picos referentes às bases, indicando baixa qualidade do sequenciamento.

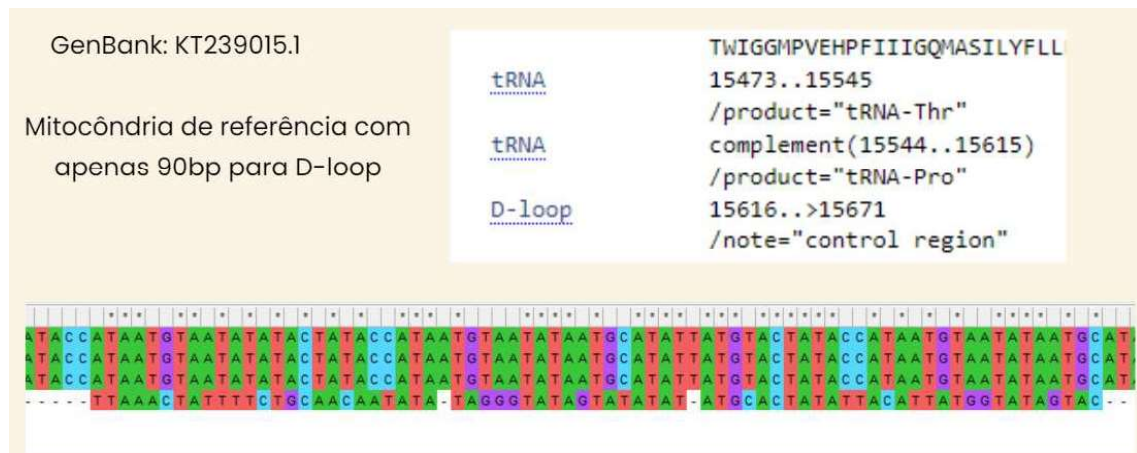


Figura 10. Alinhamento das 3 seqüências do *primer* H1-L1 para *L. castaneus*, em comparação à seqüência de 90 pb depositada no NCBI.

Extração de DNA e amplificação para montagem do banco de dados de referência 12S para o rio Doce

Para a montagem do banco de dados de referência do primer mitocondrial 12S para a bacia do rio Doce visando identificação taxonômica da ictiofauna, realizamos a extração de DNA com o protocolo *Salting out* (Miller et al. 1988) de 73 espécies da ictiofauna do rio Doce depositadas no banco de tecidos da PUC Minas, seguida da amplificação das amostras com o par de primers mitocondriais 12S V05F e TeleoR. Ao todo, são 73 espécies de 6 ordens, compreendendo 18 famílias de peixes nativos e introduzidos da bacia do rio Doce, incluindo duas espécies altamente ameaçadas de extinção (*Brycon dulcis* e *Prochilodus vimboides*). As seguintes espécies foram as selecionadas: *Astyanax lacustris*, *Astyanax sr. Scabripinnis*, *Australoheros ipatinguensis*, *Brycon dulcis*, *Brycon opalinus*, *Characidium cricareense*, *Characidium krenak*, *Characidium sp.*, *Cichla cf. Kelberi*, *Cichlasoma sp.*, *Clarias gariepinus*, *Coptodon rendalli*, *Crenicichla lacustris*, *Cyphocharax gilbert*, *Delturus carinotus*, *Deuterodon taeniatus*, *Euryochus thysanos*, *Geophagus brasiliensis*, *Glanidium botocudo*, *Gymnotus aff. carapo*, *Harttia aff. loricariformis*, *Harttia sp.*, *Hasemania sp.*, *Henochilus wheatlandii*, *Hisonotus thayeri*, *Hoplias gr. malabaricus*, *Hoplias intermedius*, *Hoplosternum littorale*, *Hyphessobrycon bifasciatus*, *Hypomasticus copelandii*, *Hypomasticus mormyrops*, *Hypomasticus thayeri*, *Hypostomus affinis*, *Hypostomus cf. luetkeni*, *Imparfinis sp.*, *Knodus moenkhausi*, *Lophiosilurus alexandri*, *Loricariichthys castaneus*, *Megaleporinus conirostris*, *Megaleporinus macrocephalus*, *Metynnis maculatus*, *Moenkhausia vittata*, *Neoplecostomus sp.*, *Oligosarcus acutirostris*, *Oligosarcus argenteus*, *Oreochromis niloticus*, *Pachyurus adpersus*, *Pareiorhaphis scutula*, *Pareiorhaphis sp.*, *Pareiorhaphis vetula*, *Phalloceros elachistos*, *Phalloceros uai*, *Pimelodella sp.*, *Pimelodus maculatus*, *Poecilia reticulata*, *Poecilia vivipara*, *Pogonopoma wertheimeri*, *Prochilodus costatus*, *Prochilodus vimboides*, *Psalidodon aff. fasciatus*, *Psalidodon aff. turmalinensis*, *Psalidodon gr. scabripinnis*, *Pseudauchenipterus affinis*, *Pygocentrus nattereri*, *Rhamdia aff. quelen*, *Salminus brasiliensis*, *Serrapinnus heterodon*, *Trachelyopterus galeatus*, *Trachelyopterus striatulus*, *Trichomycterus alternatus*, *Trichomycterus*

cf. brasiliensis, *Trichomycterus immaculatus*, *Trichomycterus sp.*, e *Trichomycterus tantalus*.

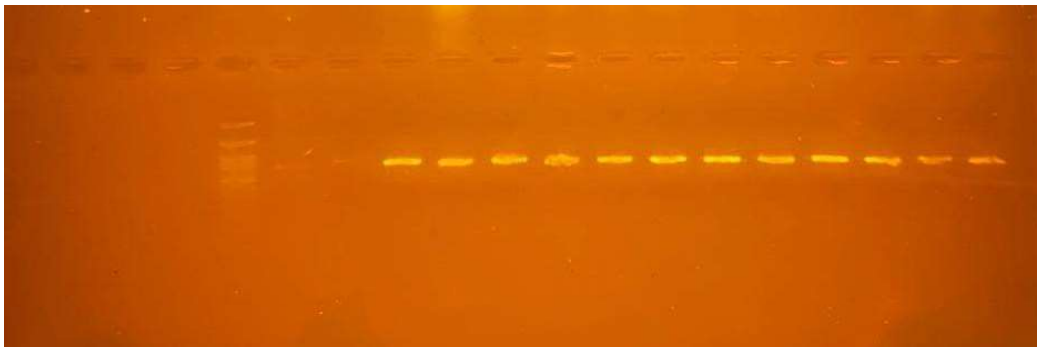


Figura 11. Gel agarose 1.5% da amplificação do par de primer 12S V05F e TeleoR para algumas espécies do rio Doce, depositadas no banco de tecidos da PUC-MG.

Sequenciamento dos fragmentos amplificados 12S para montagem do banco de dados de referência para o rio Doce

Das 73 espécies selecionadas para o estudo, 36 espécies com amplificação positiva foram enviadas para o sequenciamento, onde obtivemos seqüências de ótima qualidade.

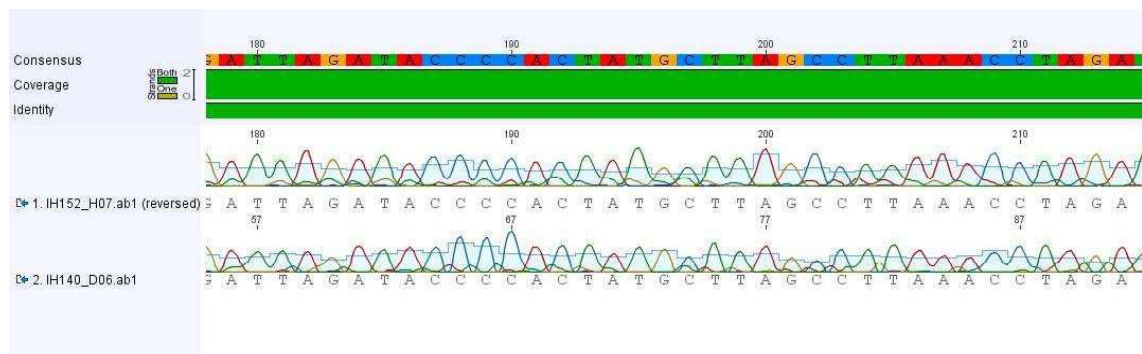


Figura 12. Eletroferogramas provenientes do sequenciamento do tipo Sanger com o par de *primer* 12S V05F e TeleoR onde é possível observar a ótima qualidade de sequenciamento (picos separados e bem definidos).

Ao alinhar as seqüências das 36 espécies para o amplicon Teleo, localizado dentro da região 12S, observamos o adequado alinhamento das seqüências ao tamanho esperado (~70 pb).

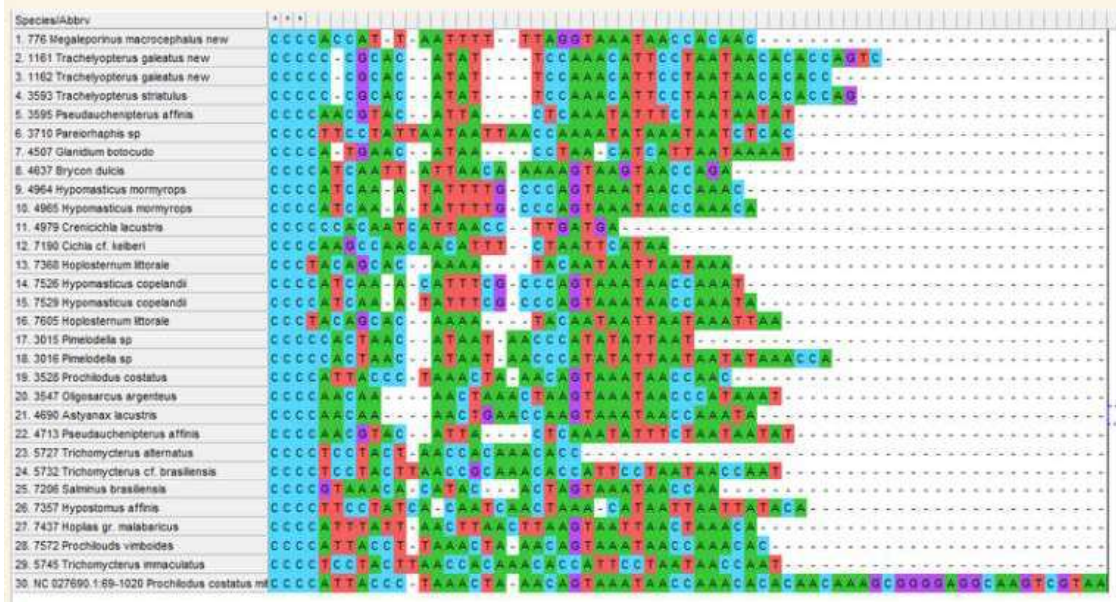


Figura 13. Alinhamento das sequências de 12S referentes ao *amplicon* Teleo, de tamanho ~60pb, onde observamos as sequências das 36 espécies com o tamanho esperado de 70 a 100pb.

Análise de 36 espécies para o par de primer 12S

Como primeira análise, obtivemos o dendrograma para as 36 espécies enviadas ao sequenciamento, onde observamos o agrupamento correto para a maioria das espécies com exceção de uma amostra *D. carinotus* que se agrupou com *Pimelodella sp.*, possivelmente devido a um problema de identificação morfológica anterior. É necessário enviar outra amostra de *D. carinotus* para sequenciamento posterior, a fim de garantir a correta identificação e representatividade no banco de sequências referência.

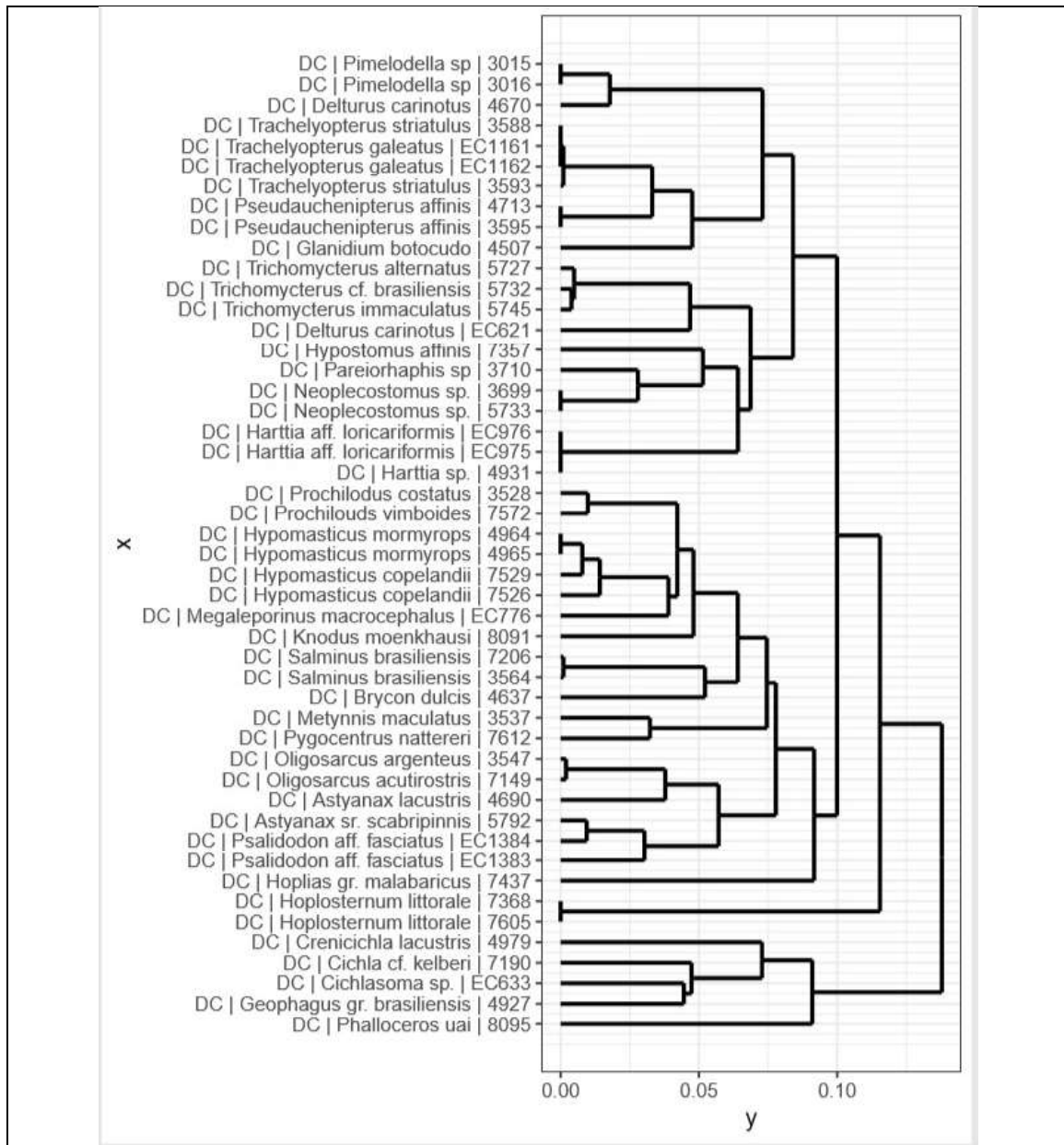


Figura 14. Dendrograma das espécies componentes do banco de seqüências referência para a bacia do rio Doce.

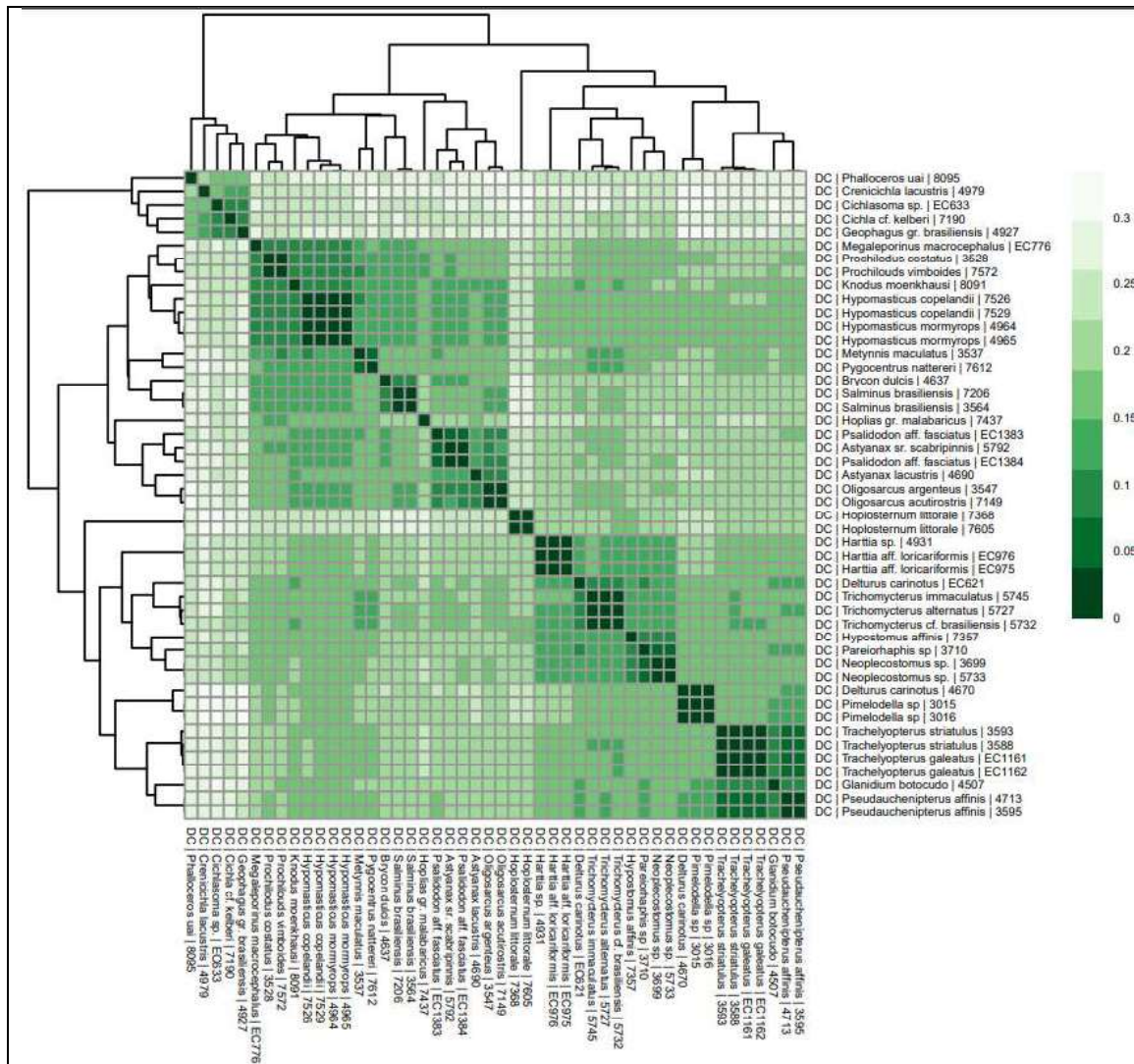


Figura 15. Heatmap apresentando a semelhança entre as sequências das espécies componentes do banco de referência, evidenciando a confiabilidade das identificações moleculares das sequências utilizadas.



Figura 16. equipe de genética do Projeto Ictidoce durante várias etapas do trabalho de laboratório.

4. Execução do Cronograma Físico do Projeto

4.1 Complete o quadro abaixo, considerando a execução técnica do projeto no período cumulativo de todos os anos:

Situação atual do Projeto	
% Executado (cumulativo de todos os anos)	Status
34,94	40% parcialmente iniciado

4.2 - Na sua avaliação, o projeto está sendo desenvolvido conforme o cronograma da última versão aprovada do Plano de Trabalho, incluindo solicitações de alterações (SAPs)?

Sim Não Parcialmente

Justifique sua resposta:

Nem todas as atividades estão sendo desenvolvidas, devido, sobretudo, à demora nas aprovações de solicitações de alteração de utilização de recursos financeiros. Maiores detalhes foram elencados nos itens 7 e 8 do presente formulário.

4.3 Relate em quais locais o projeto está sendo desenvolvido e se estes locais estão conforme a última versão aprovada do Plano de Trabalho, incluindo solicitações de alterações (SAPs).

Além de Belo Horizonte, cidade sede da UFMG (universidade de vínculo do coordenador, estudantes e colaboradores) e PUC- MG (universidade de vínculo de estudantes e colaboradores), e Lavras, cidade sede da UFLA (universidade

de vínculo de um professor colaborador), o projeto está sendo desenvolvido em toda a porção mineira da bacia do Rio Doce, incluindo as cidades de: Aimorés, Caratinga, Conselheira Pena, Engenheiro Caldas, Ferros, Governador Valadares, Ipanema, Ipatinga, Jampruca, João Monlevade, Mariana, Naque, Pocrane, Ponte Nova, Raul Soares, Viçosa e Virgolândia. Tais locais estão conforme a última versão aprovada do Plano de Trabalho.

Uma etapa importante para o desenvolvimento do projeto atualmente é a validação das identificações taxonômicas de algumas espécies de peixes. Para tal, necessitaremos enviar lotes de material pertinente, ou levar pessoalmente, à taxonomistas especialistas. Tais pesquisadores/professores se encontram em Instituições de Ensino Superior ou em Museus e Coleções Biológicas nas cidades de Campinas (SP), São Paulo (SP), São José do Rio Preto (SP), Ribeirão Preto (SP), Rio de Janeiro (RJ), Maringá (PR) e Londrina (PR).

4.4 Complete a tabela abaixo, conforme desenvolvimento técnico do projeto, utilizando como base as informações registradas no item “Metas, indicadores e Resultados Esperados”, da última versão aprovada do Plano de Trabalho, incluindo solicitações de alterações (SAPs).

Item ⁴	Metas e Atividades	Indicador de desempenho	Duração prevista inicialmente ⁵		Duração realizada		% Concluído ⁶
			Mês/Ano	Mês/Ano	Mês/Ano	Mês/Ano	
			Início	Fim	Início	Fim	
1	Gerar conhecimento acerca da distribuição das espécies de peixes da bacia do rio Doce e entender como os fatores bióticos afetam essa distribuição						
1.1	Aquisição material permanente e de consumo	Relatório financeiro	1/1	2/1	2/1	-	80%
1.2	Viagem de reconhecimento	Relatórios financeiro e anual	2/1	2/1	2/1	6/2	100%
1.3	Treinamento de pessoal	Folha de presença	2/1	2/1	2/1	-	80%
1.4	Viagem de coleta, ano 2 (obrigatoriamente entre os meses de agosto e setembro)	Relatório anual	3/1	4/1	-	-	100%
1.5	Triagem de material coletado (identificação e mensuração)	Identificação e mensuração do material biológico coletado	5/1	6/1	5/2	-	95%
1.6	Análise de dados	Relatório anual	7/1	12/1	-	-	50%
1.7	Confecção de artigo científico	Submissão de artigo para revista especializada	1/2	6/2	3/1	-	50%

1.8	Mestrado	Qualificação e defesa de dissertação	1/1	12/2	1/1	-	50%
1.9	Participação em congresso	Submissão de resumos	12/1	12/5	-	-	40%
2	Entender como o desastre com o rompimento da barragem de Fundão afetou a ictiofauna da bacia						
2.1	Viagem de coleta – Anos 1, 3 e 4 (obrigatoriamente entre os meses de agosto e setembro)	Relatório anual	3/2	3/4	5/1	-	50%
2.2	Triagem de material coletado (ident. e mensuração)	Identificação e mensuração do material biológico coletado	4/2	4/4	8/1	-	80%
2.3	Análise de dados	Relatório anual	7/2	2/5	-	-	40%
2.4	Confeção de artigo científico	Submissão de artigo para revista especializada	2/5	12/5	1/1	-	33%
2.5	Participação em congresso	Submissão de resumos	12/1	60/5	-	-	0%
3	Entender como os diversos grupos funcionais de peixes da bacia do rio Doce são afetados pelos fatores ambientais e o efeito do desastre sobre eles						
3.1	Mensuração de caracteres ecomorfológicos	Mensuração do material biológico coletado	10/2	3/3	10/1	-	60%
3.2	Análise de dados	Relatório anual	4/3	12/3	-	-	0%
3.3	Confeção de artigo científico	Submissão de artigo para revista especializada	1/4	2/5	-	-	0%

3.4	Participação em congresso	Submissão de resumos	12/1	60/5	-	-	0%
4	Entender como o desastre afetou o grupo de espécies de peixes não-nativas						
4.1	Análise de dados	Relatório anual	7/1	2/5	5/1	-	60%
4.2	Confecção de artigo científico	Submissão de artigo para revista especializada	1/4	7/5	10/1	-	20%
4.3	Participação em congresso	Submissão de resumos	12/1	60/5	-	-	20%
5	Determinar se houve perda significativa de diversidade genética na bacia do rio Doce.						
5.1	Aquisição de material permanente e de consumo, incluindo reagentes	Relatório financeiro	1/1	2/1	-	-	20%
5.2	Treinamento de pessoal	Folha de presença e relatório parcial	5/1	5/1	4/1	-	40%
5.3	Coleta de Amostras	Relatório anual	3/1	4/1	4/1	-	70%
5.4	Sequenciamento material genômico	Realização de análises moleculares	12/1	12/2	-	-	15%
5.5	Análise de dados	Relatório anual	1/2	12/4	-	-	0%
5.6	Confecção de artigo científico	Submissão de artigo para revista especializada	4/2	10/5	-	-	0%
5.7	Mestrado	Qualificação e defesa de dissertação	12/1	4/3	-	-	0%

5.8	Participação em congresso	Submissão de resumos	12/1	12/5	-	-	0%
6	Identificar estrutura populacional e fatores que a modelam						
6.1	Sequenciamento material genômico	Realização de análises moleculares	1/3	4/3	-	-	15%
6.2	Análise de dados	Relatório anual	5/3	12/3	-	-	0%
6.3	Confeção de artigo científico	Submissão de artigo para revista especializada	1/4	9/4	-	-	0%
6.4	Participação em congresso	Submissão de resumos	12/1	60/5	-	-	0%
7	Execução de atividades propostas para o manejo para restauração da ictiofauna do rio Doce de acordo com os dados obtidos. Divulgação dos resultados em artigos científicos e PITCH						
7.1	Execução de atividades propostas para o manejo para restauração da ictiofauna do rio Doce de acordo com os dados obtidos. Divulgação dos resultados em artigos científicos e PITCH	Realização de reuniões	5/1	5/5	-	-	20%

⁴ Inserir todas as metas acordadas no “Metas, indicadores e resultados Esperados”, com seu respectivo número da Meta e referência da Atividade.

⁵ Utilize como referência o “Metas, indicadores e resultados Esperados” conforme a última versão aprovada do Plano de Trabalho, incluindo solicitações de alterações (SAPs).

⁶ Em caso de tarefa concluída ou em andamento, deverão ser anexados a este formulário todos os documentos que comprovem a execução da etapa (indicadores físicos).

4.5 Justifique o atraso, caso haja, em alguma meta/atividade/entrega prevista no cronograma inicial do projeto. Sinalize o item em cada justificativa, incluindo um plano de recuperação.

Para o presente período, o subprojeto de genética encontra-se paralisado em função dos problemas burocráticos de ambas as instituições (FAPEMIG/RENOVA). Durante a elaboração do projeto, se buscou parcerias de execução de métodos analíticos mais modernos. Uma das parcerias captadas foi a do pesquisador da Flinders University, Luciano Beheregaray. Foi sugerido por ele um método de análise via SNIPs e cujo sequenciamento seria realizado por instituições reconhecidas (serviço de terceiros). Com os cortes dessa rubrica, tal análise foi colocada em segundo plano, mas com o início dos projetos e a sinalização da RENOVA por um aditivo para compensar a defasagem de inflação e das flutuações cambiais, a análise voltou a pauta. Reuniões internas foram realizadas para adequação de cronograma financeiro e ficou acertado que tanto as análises de D-Loop (um método menos preciso, mas que conta com banco de dados pré e pós desastre), quanto de SNIPs entrariam como serviço de terceiros. Essa sinalização se deu pela relação custo/qualidade das análises via laboratórios de excelência. Para realizar tais alterações, um primeiro formulário 48 foi submetido à FAPEMIG no começo do corrente ano (2023) e ficou tramitando entre instituições até julho, quando foi solicitado sua atualização e resubmissão pela RENOVA para inclusão de um novo aditivo. O formulário 48 submetido para a inclusão do aditivo deveria ser submetido de forma exclusiva (sem outras modificações), segundo nos foi informado pelas instituições. Seu trâmite ocorreria de forma acelerada tanto para liberar o sistema para as demais solicitações, quanto para liberar o dinheiro do aditivo, essencial para o andamento de todas as linhas. A celeridade prometida não se concretizou e o fato de ter um formulário 48 submetido no sistema impediu a inclusão de novos formulários ao longo de quase todo o ano. Isso impediu que um outro formulário fosse submetido para solicitação de alteração de rubricas, com a inclusão de serviço de terceiros para o sequenciamento do método D-Loop. Em julho, após reunião com a RENOVA, ficou estabelecido a possibilidade de submissão de dois formulários 48 concomitantes, resolvendo

um dos entraves. Porém, após a resubmissão do formulário 48 para os aditivos e de um novo formulário 48 com as alterações de rubricas, a celeridade prometida não foi cumprida. Os formulários foram submetidos em agosto e setembro, perfazendo um prazo muito superior ao que nos foi informado nas reuniões. Até o momento não há resposta concreta da aceitação dos formulários e as análises de genética estão paralisadas.

A solução passa pela aprovação dos formulários, visto que tais análises, tanto SNIPs, quanto D-Loop, demandam recursos para serviço de terceiros. Vale destacar que a parceria com o pesquisador da Austrália, Luciano Beheregaray, teve que ser desfeita ante a demora na liberação desses recursos e que há grande insatisfação por parte dos pesquisadores que não conseguem contornar os imbrólios financeiros do projeto. Solicitar um plano de recuperação demanda esforço das instituições para a aprovação. Pensar em soluções previamente à aprovação seria trilhar caminhos sem a certeza financeira, e conseqüentemente, sem a certeza de execução desse caminho.

4.6 Informe o desenvolvimento dos produtos pactuados (científicos e/ou tecnológicos), segundo a situação dos mesmos:

Produtos Pactuados				
Quantidade	Produto	Concluído	Em desenvolvimento	Não iniciado
5	Artigos em revistas especializadas	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	Dissertações de mestrado	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	Apresentação de trabalhos em congressos	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Outros Produtos (caso haja)			
Quantidade	Produto	Concluído	Em desenvolvimento
	Especificação	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4.7 Há necessidade de realizar ajustes ao cronograma inicialmente pactuado?

Sim Não Parcialmente Não se Aplica

Justifique sua resposta:

Algumas etapas, sobretudo relativas às análises genéticas, estão atrasadas. Tais atrasos se devem à extrema demora, por parte da Fapemig e Renova, na aprovação de solicitações de rearranjos financeiros. Isso tem inviabilizado parte considerável do projeto e, portanto, há necessidade de realizar ajustes ao cronograma inicialmente pactuado.

4.8 Há necessidade de realizar adequações aos objetivos, metas ou produtos inicialmente pactuados?

Sim Não Parcialmente Não se Aplica

Justifique sua resposta:

Caso não haja aprovação das solicitações de rearranjos financeiros, não será possível cumprir os objetivos pactuados. Além disso, a escassez de informações prévias ao rompimento vêm dificultando a geração de algumas respostas associadas aos objetivos e metas inicialmente pactuados.

4.9 Em relação aos resultados/produtos finais alcançados, comente sobre o seu potencial de utilização/incorporação.

Boa parte dos resultados/produtos finais alcançados gerará conhecimento científico de alta qualidade, que poderá subsidiar tomadas de decisões importantes acerca de medidas de conservação e manejo da fauna de peixes frente à condição de degradação ambiental que se encontra a bacia do Rio Doce.

5 Resultados e discussão em relação às perguntas orientadoras (Chamada 10/2018) ⁴

- Como a estrutura, composição e função das comunidades aquáticas está sendo afetada pelo evento? Quais as implicações para a conservação das espécies e manutenção dos serviços ecossistêmicos associados?

1. Como a estrutura, composição e função das comunidades aquáticas está sendo afetada pelo evento?

- a. Essa questão será respondida levando em consideração o artigo de Salvador et al. (2022). O trabalho foi desenvolvido no trecho médio da bacia, especificamente, em um trecho de 50 km do rio Doce sob influência da UHE Baguari. Os resultados mostram uma clara mudança na composição das espécies de peixes após o rompimento da barragem de rejeitos de Fundão, independentemente da área de influência da hidrelétrica – se à montante, no reservatório ou à jusante (vide figura 4 do artigo – em anexo). Essa alteração se deu pela substituição de espécies entre os períodos pré e pós rompimento, uma vez que os valores de riqueza de espécies não se alteraram após o evento (vide figura 3 do artigo). De forma homogênea, o período pós-desastre mostrou um incremento na abundância de não nativos. Uma queda na abundância de espécies nativas também foi observada, mas para somente o trecho à montante da hidrelétrica (Figura 3 do artigo). As espécies direcionadoras dessa mudança são distintas entre as áreas de influência da hidrelétrica, apesar de haver espécies coincidentes. Esse é o caso da Piranha (*Pygocentrus nattereri*), que apresentou um aumento na sua abundância após o rompimento tanto no reservatório, quanto no trecho à jusante. A

⁴ Discutir os resultados diante do que já foi publicado sobre o tema. Sempre que possível, deve-se responder às perguntas orientadoras do edital.

tabela 3 do referido artigo contêm essas informações para as espécies mais representativas na mudança.

- b.** Apesar de termos um panorama do trecho médio, não há informações sobre os trechos alto e baixo da bacia. Dados pretéritos poderiam ser obtidos dos monitoramentos das hidrelétricas de Candonga, Aimorés e Mascarenhas. Porém, nossa linha não possui esses dados e não há perspectivas de respondermos essa questão para os demais trechos.
- c.** A função das comunidades pode ser estudada através das características funcionais das espécies. A equipe da linha IV pretende criar um banco de dados com tais características e testar como essas características foram afetadas pelo evento.
- d.** Apesar dos resultados jogarem luz sobre essa questão, a não continuidade do trabalho na região de Baguari impede que tenhamos informações contínuas e acessemos as transformações das comunidades de peixes em períodos maiores.

2. Quais as implicações para a conservação das espécies e manutenção dos serviços ecossistêmicos associados?

- a.** Essa questão será respondida levando em consideração o artigo de Souza et al. (2021). O trabalho, realizado na lagoa Carioca do Parque Estadual do Rio Doce, levou em consideração as mudanças temporais na estrutura funcional da ictiofauna após a introdução de piscívoros não nativos. Nessa lagoa, se observou uma redução da riqueza funcional relacionada ao tempo, com clara resposta à introdução dos piscívoros. Isso mostra como os fatores que beneficiam as espécies não nativas podem levar a um declínio das espécies nativas. Ações para frear a introdução de espécies na bacia, cujo fonte de propágulo pode estar relacionada à aquicultura e à aquariofilia, podem ser trabalhos direcionadores para frear essas fontes e reduzir novas introduções. Esse trabalho também reforça a

importância de coletas sistemáticas ao longo de uma série temporal.

A definição de uma rede amostral robusta e bem amostrada

- b.** Uma questão pertinente que começa a ser trabalhada é a sobreposição de nicho entre as espécies nativas e não nativas. O beneficiamento das espécies não nativas no pós-rompimento e a depleção funcional que essas espécies causam no sistema mostram a importância de se estudar as interações entre as espécies nativas e não nativas. Há uma proposta de mestrado em andamento para trabalhar a sobreposição de nicho de duas espécies capturadas na bacia do rio Doce. Essa proposta tentará responder como a sobreposição de nicho pode levar a exclusão de uma espécie.
- c.** Vale destacar que não serão abordadas questões sobre o serviço ecossistêmicos na linha IV.

- Quais foram as perdas populacionais (em números ou, quando cabível, biomassa) das espécies atingidas na bacia? Que espécies foram extirpadas? O que todas essas perdas representam para as espécies atingidas, regional e globalmente?

1. Quais foram as perdas populacionais (em números ou, quando cabível, biomassa) das espécies atingidas na bacia?

- a.** Essa questão será respondida levando em consideração o artigo de Salvador et al. (2022). Como ponderado anteriormente, o rompimento levou a uma alteração na composição das espécies da calha do rio Doce. Esse impacto beneficiou um conjunto de espécies e impactou negativamente outro. De forma geral, *Astyanax lacustris*, *Oligosarcus acutirostris*, *Loricariichthys castaneus*, *Megaleporinus conirostris*, *Trachelyopterus striatulus* e *Hypostomus luetkeni* foram espécies cuja população apresentou queda em sua abundância após o rompimento da barragem de rejeitos de Fundão. Fato importante a ser salientado é que algumas espécies apresentaram uma queda mais homogênea, como *O. acutirostris*, e outras, dependente da área de influência da hidrelétrica, como é o caso de *T. striatulus*. Isso significa que a

interação entre ambiente e desastre foi fundamental para o caminho que essas espécies tomassem. Outro fato importante é que algumas espécies necessitaram de um tempo maior para o estabelecimento de populações no pós-desastre (vide resultados e figura 2 do resumo enviado). Diante dessa informação, surge o questionamento: essas populações conseguiram retornar sua abundância para níveis pré-desastre? Infelizmente, a não continuidade das coletas no trecho estudado dificulta essa resposta.

2. Que espécies foram extirpadas?

- a. Um workshop foi realizado em 2018 para tentar responder tal questionamento. Como fruto desse workshop nasceu o “Livro vermelho da biota aquática do Rio Doce ameaçada de extinção pós-rompimento da barragem de Fundão: Mariana, Minas Gerais” (Drummond, Subirá e Martins, 2021). Sob a luz do conhecimento da época, foi elencado que não havia espécies de peixes de água doce extirpadas pelo desastre. Três foram as espécies dulcícolas avaliadas: a curimba (*Prochilodus vimboides*), a piabanha (*Brycon dulcis*), e o surubim do rio Doce (*Steindachneridion doceanus*). O surubim do rio Doce já estaria extinto na calha, e seu último registro teria ocorrido em 1995 na região de Aimorés (Drummond, Subirá e Martins, 2021). Sua população se restringiria à pequenas porções dos rios Piranga, Manhuaçu e Santo Antônio e que não foram afetadas pelo rompimento. Exemplos da espécie foram registrados nessas localidades, mesmo após o rompimento, reforçando a manutenção dessas populações. Porém, recentemente, se descobriu que pescadores locais capturavam o surubim em uma localidade denominada “Comunidade dos Krenaks”, um pedral localizado na calha do rio Doce próximo ao Parque Estadual Sete Salões e que apresenta características propícias para a espécie, pedrais com poços profundos (Assumpção *et al.*, 2021). Esses mesmos pescadores informaram que a espécie não foi mais capturada pós-desastre. A ausência de captura da espécie nessa localidade pode

ser um efeito do desastre ou da proibição da pesca no trecho mineiro da bacia e deve ser avaliada.

Uma espécie não ameaçada, mas que requer atenção é *Harttia* sp. (figura 1), uma espécie em processo de descrição de cascudo-barata. Durante os monitoramentos do sistema de transposição da UHE Baguari, essa espécie foi frequentemente capturada. Porém, após o desastre, nenhum exemplar foi registrado no STP e coletas da equipe não registraram a espécie no trecho afetado pelo rompimento.

As outras duas espécies avaliadas, a curimba (*Prochilodus vimboides*), a piabanha (*Brycon dulcis*), apresentam registro tanto na calha, quanto em afluentes. Além disso, registros pós-desastre também estavam ocorrendo na calha. Os resultados das nossas coletas mostram o trecho do Parque Estadual do Rio Doce como importante para essas espécies, uma vez que grande parte das capturas ocorreu nessa região (vide exemplo na figura 17).

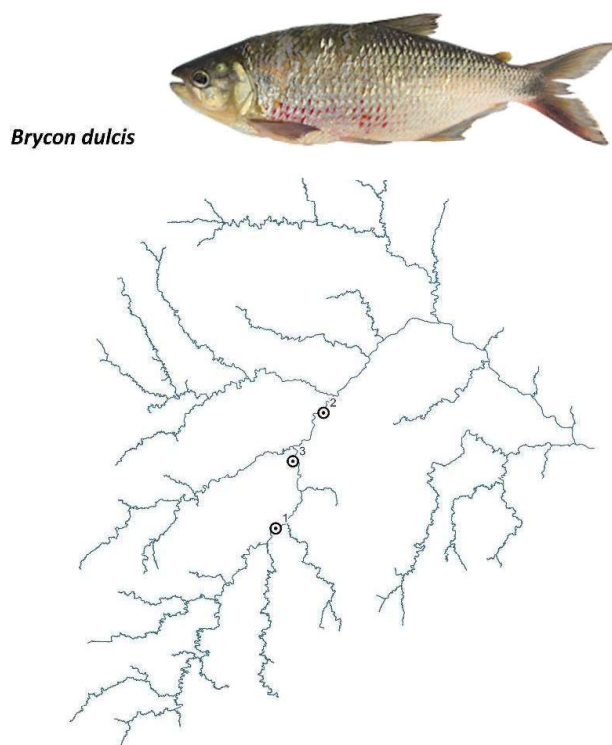


Figura 17. Registros de ocorrência de *Brycon dulcis* durante a expedição de coleta da linha IV do projeto FAPEMIG/RENOVA. A espécie foi registrada em três localidades, todas na proximidade do Parque Estadual do Rio Doce.

3. O que todas essas perdas representam para as espécies atingidas, regional e globalmente?

- a. *Harttia* sp. tem registros em vários afluentes da bacia, mas a calha perfaz uma importante porção de sua distribuição. A ausência de registros no trecho de Baguari pós-desastre deve ser estudada. A espécie pode se assemelhar a outras, que demandaram tempo para reestabelecer suas populações, ou realmente não ter se reestabelecido na calha após o rompimento. Um estudo mais direcionado deveria ser realizado para sanar tal questionamento.



Harttia sp.n

- b. *Steindachneridion doceanum* é uma espécie endêmica do Brasil e é considerada criticamente ameaçada (CR) pelo critério B2ab(iii), ou seja, sua área de ocupação é inferior à 10 km², com uma população severamente fragmentada e declínio contínuo de seu habitat (ICMBio, 2018). Os resultados obtidos em nível nacional podem ser extrapolados para o nível global, uma vez que a espécie não ocorre em outros países. A avaliação feita da espécie não considerou nenhum trecho da calha, visto que a localidade do último registro é, hoje, uma hidrelétrica. A descoberta de potenciais ocorrências na calha no período pré-desastre reascende a necessidade de estudos voltados para esse fim. Caso se confirme a presença da espécie nessa localidade, as chances de manutenção dessas populações a longo prazo ganham força.

- Quais são as dimensões, viabilidade (considerando fatores como sobrevivência, maturação sexual, reprodução, variabilidade genética) e distribuição das populações remanescentes? Qual a sua resiliência? Como sua resiliência foi afetada pelo evento?

A linha IV não pretende responder a essa questão

- Quais são as tendências de evolução dessas populações? É necessário e viável revigorar essas populações na bacia? É viável reintroduzir as espécies extirpadas? Que medidas podem ser adotadas e quais seus prováveis resultados? Quais e onde são mais indicadas, considerando sua efetividade, impactos e tempo para a geração de resultados?

1. Quais são as tendências de evolução dessas populações?

- a. Um levantamento do histórico de coletas e uma proposta de amostragem temporal sistemática nesses mesmos pontos poderia contribuir para essa resposta. Porém, seria importante um escopo temporal mais abrangente do que aquele que teremos como base. A proposta inicial do projeto previa 4 anos de amostragem no trecho afetado. Esse montante já seria um bom começo, mas não o ideal. Além disso, dado o atraso de implantação do projeto e as dificuldades vividas durante a pandemia, os recursos se tornaram insuficientes para fecharmos esse escopo temporal.

2. É necessário e viável revigorar essas populações na bacia?

- a. Em um contexto geral, a linha IV não pretende abordar essa questão. Seria interessante discussões sobre enriquecimento ambiental e a resposta sobre as populações. As respostas obtidas em uma das propostas da linha IV poderia auxiliar no delineamento de propostas desse cunho. Pretendemos entender a relação entre o ambiente e as espécies de peixes na bacia. Cruzaremos uma séria de informações ambientais com a abundância das espécies conheceremos como determinadas métricas (ex.: profundidade) afetam essas espécies. Isso pode auxiliar no direcionamento de experimentos de enriquecimento ambiental na bacia. Além disso, os resultados preliminares mostram caminhos que contribuem para essa discussão. É fácil notar a importância do trecho do parque na manutenção das populações de *B. dulcis*. Essa espécie se beneficia da mata por ter uma alimentação composta por frutas e insetos alóctones e a recomposição da mata

ciliar poderia auxiliar na recuperação dela ao longo de outros trechos da bacia.

3. É viável reintroduzir as espécies extirpadas?

- a. Trabalhos de reintrodução são controversos e devem ser evitados a todo custo. Porém, em algumas situações, a conservação ex-situ é recomendada. Nesse caso, o PAT tem trabalhado para viabilizar a conservação ex-situ do surubim do rio Doce, uma das espécies mais ameaçadas da bacia. Uma integração entre os projetos poderia ser de grande interesse. Porém, a linha IV não possui verbas para auxiliar nesses estudos.

4. Que medidas podem ser adotadas e quais seus prováveis resultados?

- a. Parte dessa questão poderá ser respondida com os resultados da linha IV. A etapa final do índice de integridade biótica é direcionar políticas de restauração, uma vez que teremos um retrato dos impactos na bacia e como agem sobre a fauna de peixes.

5. Quais e onde são mais indicadas, considerando sua efetividade, impactos e tempo para a geração de resultados?

- a. Parte dessa questão poderá ser respondida com os resultados da linha IV. A etapa final do índice de integridade biótica é direcionar políticas de restauração, uma vez que teremos um retrato dos impactos na bacia e como agem sobre a fauna de peixes.

- O evento está facilitando espécies exógenas ou invasoras na bacia? Que tendências apresentam suas populações e como estão distribuídas? Que medidas podem ser usadas para controlá-las ou erradicá-las? Quais e onde são mais indicadas, considerando sua efetividade, impactos e tempo para a geração de resultados?

1. O evento está facilitando espécies exógenas ou invasoras na bacia?

- a. A resposta obtida por Salvador et al. (2022) indica que as espécies não nativas foram favorecidas após o desastre, com um

aumento em sua abundância de forma homogênea na área estudada (vide figura 3 do artigo).

- b. Se olharmos dentro do arcabouço teórico das invasões biológicas, a facilitação é um mecanismo que reduz o poder de uma barreira sobre uma determinada espécie. As espécies translocadas passam por uma série de barreiras para seu estabelecimento e dispersão, como competição por espaço e recursos. Algumas ações acabam por reduzir ou quebrar essas barreiras e são designadas como facilitadoras (Blackburn *et al.*, 2011). Nesse quesito, o desastre parece ter facilitado a dispersão da piranha (*P. nattereri*) na calha do rio Doce. No período pré-desastre essa espécie tinha baixa abundância no trecho estudado, mas após o rompimento, a abundância dessa espécie subiu drasticamente (Salvador *et al.*, 2022). Ainda não está claro o mecanismo que causou a explosão populacional da área estudada, mas há indícios que o desastre tenha atuado como facilitador para sua dispersão e explosão populacional. Outra espécie não nativa que apresentou um aumento em sua abundância foi o tamboatá (*Hoplosternum littoralle*). É provável que a espécie tenha se beneficiado do grande volume de lama depositado ao fundo, uma vez que a espécie tem preferência para ambientes lênticos e de água barrenta (Bizerril e Silveira Primo, da, 2001). Aliado a isso, ela tem capacidade de respiração aérea (Jucá-Chagas e Boccardo, 2006), o que pode ter influenciado na velocidade em que essa espécie colonizou a calha do rio Doce após o desastre. Outra possível hipótese, menos parcimoniosa, seria a de facilitação por parte de piscívoros não nativos. As espécies piscívoras tendem a preda outras espécies em detrimento de *H. littoralle*. Com o aumento na abundância das piranhas e queda na abundância de algumas espécies nativas (Salvador *et al.*, 2022), *H. littoralle* poderia se beneficiar, com a redução na competição por espaço e alimento (Lima Jr e Latini, 2016).

- 2.** Que tendências apresentam suas populações e como estão distribuídas?
 - a.** O artigo de Salvador et al. (2022) mostra um aumento na abundância das espécies não nativas de forma homogênea no trecho médio. Porém, a descontinuidade das coletas impede uma análise temporal mais acurada e a restrição espacial impede a extrapolação desses resultados para outras regiões. Talvez, a realização de coletas com mesmo desenho amostral de Salvador et al. (2022), permita responder essa questão de forma mais assertiva. Para isso, seria necessária uma alteração no delineamento proposto inicialmente.

- 3.** Que medidas podem ser usadas para controlá-las ou erradicá-las?
 - a.** O controle de populações não nativas aquáticas é complexo, dada a não seletividade dos métodos de captura. Porém, um experimento piloto começou a ser executado nas lagoas do Parque Estadual do Rio Doce e descontinuado por falta de apoio financeiro. O apoio a projetos desse cunho deve ser priorizado para entender como a pesca seletiva pode auxiliar na redução da abundância dessas espécies.

- 4.** Quais e onde são mais indicadas, considerando sua efetividade, impactos e tempo para a geração de resultados?
 - a.** Vide resposta anterior.

6 Resultados adicionais, se existirem (além daqueles citados nos itens acima)

RECOLONIZANDO UM RIO: COMO A ICTIOFAUNA RECOLONIZOU O RIO DOCE APÓS UM GRANDE DESASTRE?

Os valores de AIC foram semelhantes para todas as relações entre tempo e métricas de diversidade, o que indica que ainda não houve estabilização nem da riqueza de espécies, nem da abundância total no reservatório e no rio. Dois meses após o rompimento houve registro de espécies de peixes no trecho estudado e esses registros aumentaram ao longo do primeiro ano (Figura 18). No reservatório, houve uma queda brusca no incremento no nono mês, e subsequente aumento três meses depois, passando a apresentar uma oscilação com tendência moderada de incremento. No rio, essa quebra ocorreu de forma mais acentuada e no 18º mês. Tal qual ocorreu no reservatório, após alguns meses a riqueza voltou a aumentar de forma moderada (Figura 18). Esses padrões se repetiram para abundância, exceto o período final no rio, que apresentou uma tendência à queda ao invés do leve incremento observado para riqueza (Figura 18).

Poderíamos esperar que essas variações estivessem relacionadas com a temperatura ou a vazão, fatores que tendem a modificar os índices de diversidade de peixes na região Neotropical (Giacomini et al. 2011). Porém, os resultados dos modelos não mostrou essa associação, o que corrobora os resultados obtidos por Salvador et al. (2022), que não observou variação sazonal na riqueza do rio Doce. Os modelos também não foram significativos para os demais parâmetros analisados, incluindo Clorofila, condutividade e turbidez. A ausência de relação entre os parâmetros físico-químicos e os índices de diversidade sugerem que a recolonização no rio Doce pode ter sido influenciada por outros fatores não mensurados, como as interações biológicas ou associados às dinâmicas particulares dos tributários (potenciais fontes de recolonização da calha). Porém, não podemos descartar que o início do processo tenha ocorrido de forma aleatória, com a chegada de espécies com

maior capacidade de dispersão ou mesmo com maior tolerância à ambientes extremos.

Apesar de não termos observado uma relação entre os parâmetros físico-químicos e os índices de diversidade, quando calcularmos essa relação para a abundância de diferentes espécies separadamente, obtivemos uma reposta significativa para cinco espécies no reservatório e oito no rio (Figura 19). Algumas espécies, como *Astyanax lacustris* e *Loricariichthys castaneus*, foram correlacionadas positivamente com o tempo, indicando que a entrada dessas espécies na calha do rio Doce ocorreu somente após um determinado período. Porém, não foi observada uma correlação inversa entre a turbidez e a abundância dessas espécies. Isso indica que um dos principais fatores causadores da mortalidade não foi um fator restritivo para a entrada dessas espécies. A concentração de Clorofila foi correlacionada de maneira fraca com três espécies no rio, mas não apresentou valores superiores à 0,3 no reservatório. A condutividade foi significativa apenas no rio e foi inversamente correlacionada com *Cyphocharax gilbert*, *Hoplias gr. malabaricus* e *Pygocentrus nattereri*. Tanto vazão, quanto turbidez foram inversamente correlacionadas com *Megaleporinus conirostris* e *Pimeldous maculatus* no reservatório. Logo após o rompimento foi registrado um aumento na abundância de moluscos, especialmente no reservatório, e é provável que essas espécies tenham entrado no reservatório para fins alimentares (Vieira et al. 2015). Porém, elas também são classificadas como migradoras (Carolsfeld et al. 2003, Pompeu and Martinez 2006), e é provável que a queda em sua abundância seja provocada pelo movimento de piracema durante os períodos de maior fluxo. No rio, somente *P. nattereri* foi correlacionada positivamente com essas duas variáveis. O aumento na abundância dessa espécie pode estar relacionado com o aumento na eficiência das redes, pois o aumento na turbidez pode influenciar na captura de espécies visualmente orientadas, como é o caso das piranhas (*P. nattereri*). Outra explicação plausível é a alta tolerância de *P. nattereri* a condições de degradação ambiental, padrão reconhecido para diversas espécies invasoras, aumentando sua capacidade de estabelecimento e crescimento populacional após o rompimento da barragem.

O presente estudo mostra a importância de se obter dados contínuos e com alta frequência após um desastre de grande magnitude. Sabemos que existe um efeito espacial sobre as respostas biológicas e que esse efeito não foi avaliado aqui. Porém, mesmo com um desenho com um único ponto amostral para reservatório e outro para rio, conseguimos observar como a recolonização da calha do rio Doce vem ocorrendo em parte de seu trecho médio. Tanto a riqueza de espécies, quanto a abundância aumentam de forma escalonada ao longo dos primeiros meses, porém, no reservatório esse fenômeno ocorre de forma mais linear ao longo de todo o período estudado. Os parâmetros físico-químicos testados no presente trabalho não influenciaram nem a riqueza nem a abundância total da comunidade, mas foram capazes de influenciar um conjunto de espécies de forma distinta. Por fim, uma mesma espécie pode ser afetada de forma distinta pelos parâmetros físico-químicos dependendo da sua localização.

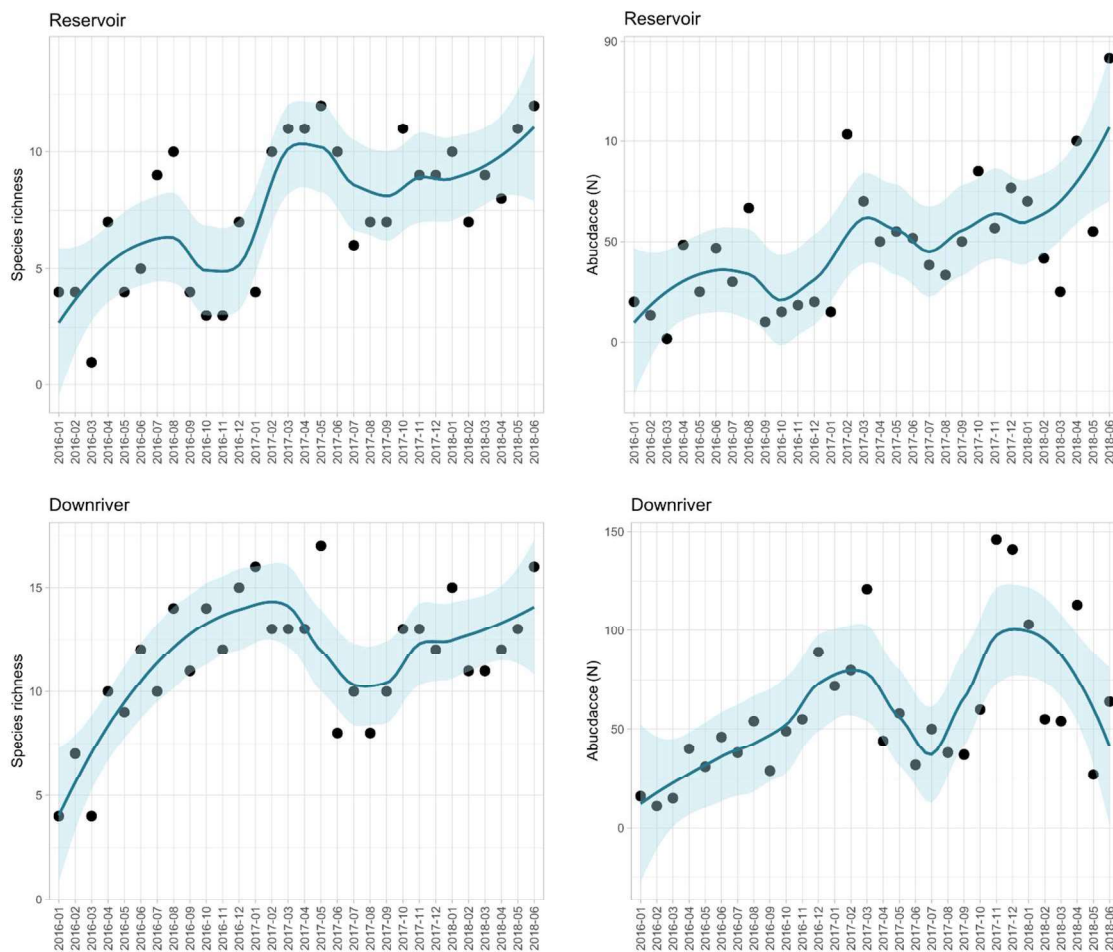
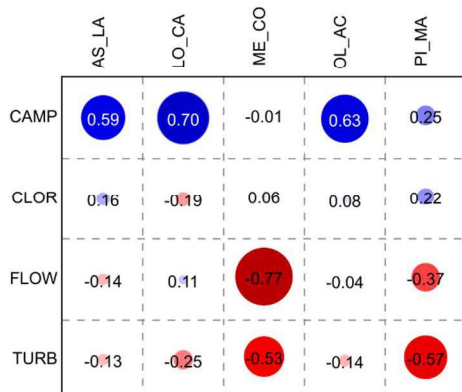


Figura 18. Avaliação temporal do impacto do rompimento da barragem de rejeitos de Fundão na riqueza de espécies (esquerda) e abundância (direita) da ictiofauna no reservatório (acima) e no rio Doce logo à jusante da barragem da UHE Baguari (abaixo).

RESERVOIR



DOWNRIVER

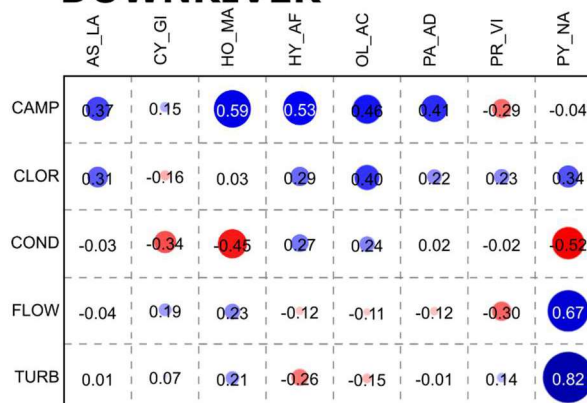


Figura 19. Correlação de Spearman (rs) calculada entre as variáveis e espécies significativas na GLM multivariada. RESERVOIR = reseratório; DOWNRIVER = rio; CAMP = campanha; CLOR = clorofila; COND = condutividade; FLOW = vazão; TURB = turbidez. AS_LA = *Astyanax lacustris*; CY_GI = *Ciphocharax gilbert*; HO_MA = *Hoplias gr. malabaricus*; HY_AF = *Hypostomus affinis*; LO_CA = *Loricariichthys castaneus*; ME_CO = *Megaleporinus conirostris*; OL_AC = *Oligosarcus acutirostris*; PA_AD = *Pachyurus adspersus*; PI_MA = *Pimelodus macuatus*; PR_VI = *Prochilodus vimboides*; PY_NA = *Pygocentrus nattereri*.

DIVERSIDADE BETA DE PEIXES EM RIOS DA BACIA DO RIO DOCE

Foram registradas 76 espécies de peixes, distribuídas por sete ordens e 21 famílias. Dessas, 41 ocorreram ao longo do trecho afetado pelo rompimento da barragem de rejeitos de Fundão e 71 ocorreram em rios não afetados pelo rompimento (Tabela 2 e figuras 20 a 22).

Tabela 2. Lista de espécies e respectiva abundância nas áreas afetadas e não afetadas pelo rejeito na bacia do rio Doce.

ORDEM/Família/Espécies	Não afetado	Afetado	Total
CHARACIFORMES			
Anostomidae			
<i>Hypomasticus copelandii</i>	38	1	39
<i>Hypomasticus mormyrops</i>	36		36
<i>Hypomasticus thayeri</i>	5		5
<i>Megaleporinus conirostris</i>	12	3	15
<i>Megaleporinus macrocephalus</i>	1		1
Bryconidae			
<i>Brycon dulcis</i>		6	6
<i>Henochilus wheatlandii</i>	14		14
<i>Salminus brasiliensis</i>		1	1
Characidae			
<i>Astyanax lacustris</i>	492	165	657
<i>Deuterodon cf. taeniatus</i> (sp.A)	1368	158	1526

<i>Deuterodon sp.B ("alongado")</i>	56	29	85
<i>Hasemania sp.</i>	232	10	242
<i>Hyphessobrycon eques</i>	3	2	5
<i>Knodus moenkhausii</i>	2320	584	2904
<i>Moenkhausia vittata</i>	4		4
<i>Oligosarcus acutirostris</i>	164	85	249
<i>Oligosarcus argenteus</i>	62		62
<i>Psalidodon aff. fasciatus</i>	241	98	339
<i>Psalidodon aff. scabripinnis</i>	7		7
<i>Psalidodon sp. (aff. turmalinensis)</i>	13		13
<i>Serrapinnus heterodon</i>	516	68	584
Crenuchidae			
<i>Characidium cricareense</i>	8		8
<i>Characidium krenak</i>	32		32
<i>Characidium sp. (aff. gomesi)</i>	4		4
Curimatidae			
<i>Cyphocharax gilbert</i>	47	2	49
Erythrinidae			
<i>Hoplias gr. malabaricus</i>	22	3	25
<i>Hoplias intermedius</i>	52	14	66
Prochilodontidae			
<i>Prochilodus costatus</i>	10	7	17
<i>Prochilodus vimboides</i>	1	22	23
Serrasalminidae			
<i>Pygocentrus nattereri</i>		6	6
CICHLIFORMES			
Cichlidae			
<i>Australoheros ipatinguensis</i>	2		2
<i>Cichlasoma sp.</i>	1		1
<i>Coptodon rendalli</i>	5	108	113
<i>Crenicichla (Lacustria) lacustris</i>	3		3
<i>Geophagus gr. brasiliensis</i>	306	37	343
<i>Oreochromis niloticus</i>	2	4	6
<i>Saxatilia lepidota</i>	11	1	12
CYPRINODONTIFORMES			
Poeciliidae			
<i>Phalloceros uai</i>	187		187
<i>Poecilia reticulata</i>	76	1	77
<i>Poecilia vivipara</i>	285	4	289
GYMNOTIFORMES			
Gymnotidae			
<i>Gymnotus cf. sylvius</i>	5	1	6
PERCIFORMES			
Sciaenidae			
<i>Pachyurus adpersus</i>	26	1	27

SILURIFORMES			
Auchenipteridae			
<i>Glanidium botocudo</i>		1	1
<i>Pseudauchenipterus affinis</i>	1		1
<i>Trachelyopterus striatulus</i>	1	16	17
Callichthyidae			
<i>Corydoras aeneus</i>	2		2
<i>Hoplosternum littorale</i>	4	6	10
Clariidae			
<i>Clarias gariepinus</i>	3	3	6
Heptapteridae			
<i>Pimelodella sp.</i>	9		9
<i>Rhamdia aff. quelen</i>	42	3	45
Loricariidae			
<i>Ancistrus cf. multispinis</i>	2		2
<i>Delturus carinotus</i>	29	1	30
<i>Euryochus thysanos</i>	7		7
<i>Harttia intermontana</i>	10		10
<i>Harttia sp.n (aff. loricariformis)</i>	9		9
<i>Hypostomus affinis</i>	220	9	229
<i>Hypostomus cf. luetkeni</i>	36	22	58
<i>Loricariichthys castaneus</i>	102	6	108
<i>Neoplecostomus doceensis</i>	15		15
<i>Pareiorhaphis vetula</i>	2		2
<i>Parotocinclus doceanus</i>	39	17	56
<i>Pogonopoma wertheimeri</i>	4		4
<i>Rineloricaria sp.</i>	1		1
Pimelodidae			
<i>Pimelodus maculatus</i>	1	6	7
Pseudopimelodidae			
<i>Lophiosilurus alexandri</i>		2	2
Trichomycteridae			
<i>Cambeva sp.</i>	2		2
<i>Microcambeva watu</i>	11		11
<i>Trichomycterus aff. caipora</i>	2		2
<i>Trichomycterus astromycterus</i>	2	1	3
<i>Trichomycterus cf. alternatus</i>	60		60
<i>Trichomycterus illuvies</i>	3		3
<i>Trichomycterus immaculatus</i>	10		10
<i>Trichomycterus melanopygius</i>	6		6
<i>Trichomycterus tantalus</i>	2		2
<i>Trichomycterus vinnulus</i>	9	5	14
SYNBRANCHIFORMES			
Synbranchidae			
<i>Synbranchus sp.</i>	1		1

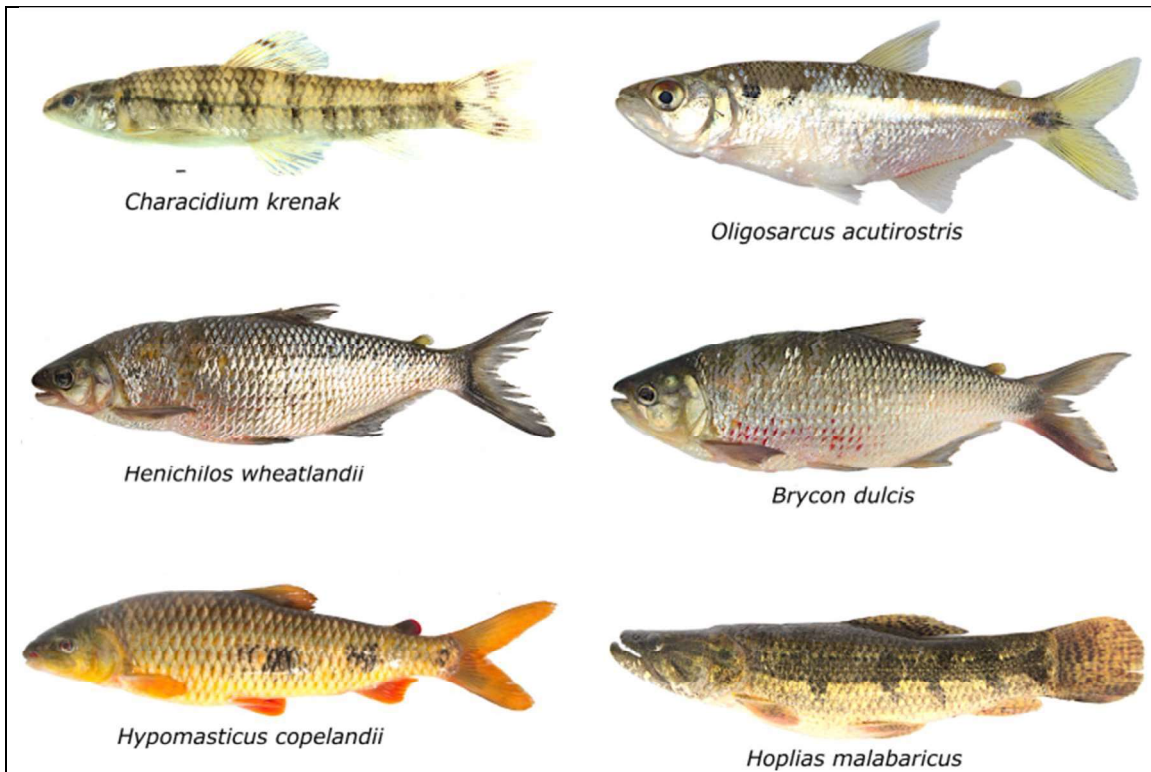


Figura 20. Algumas espécies pertencentes à ordem Characiformes que foram registradas na bacia do rio Doce.

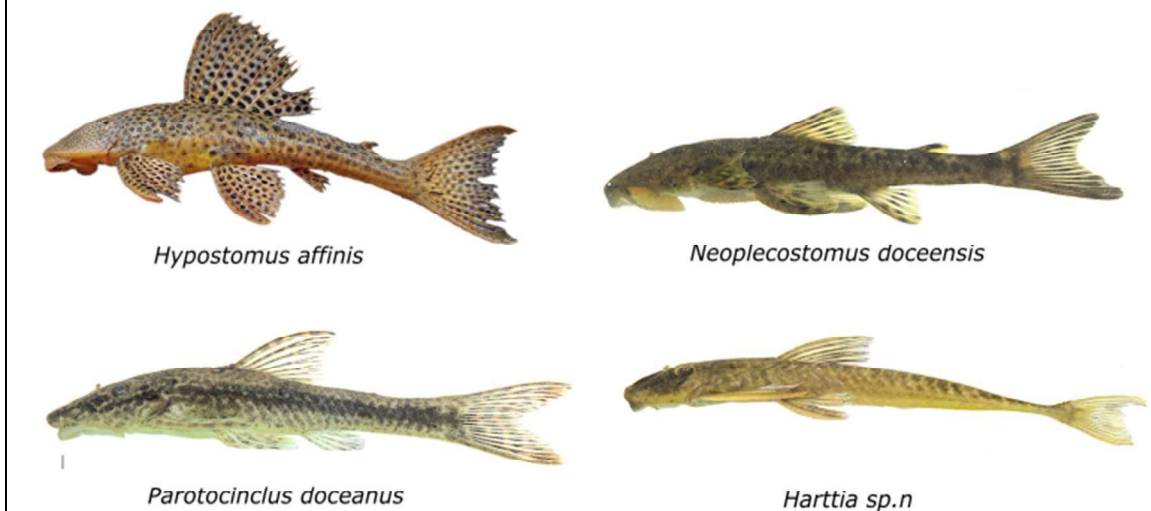


Figura 21. Algumas espécies pertencentes à ordem Siluriformes que foram registradas na bacia do rio Doce.

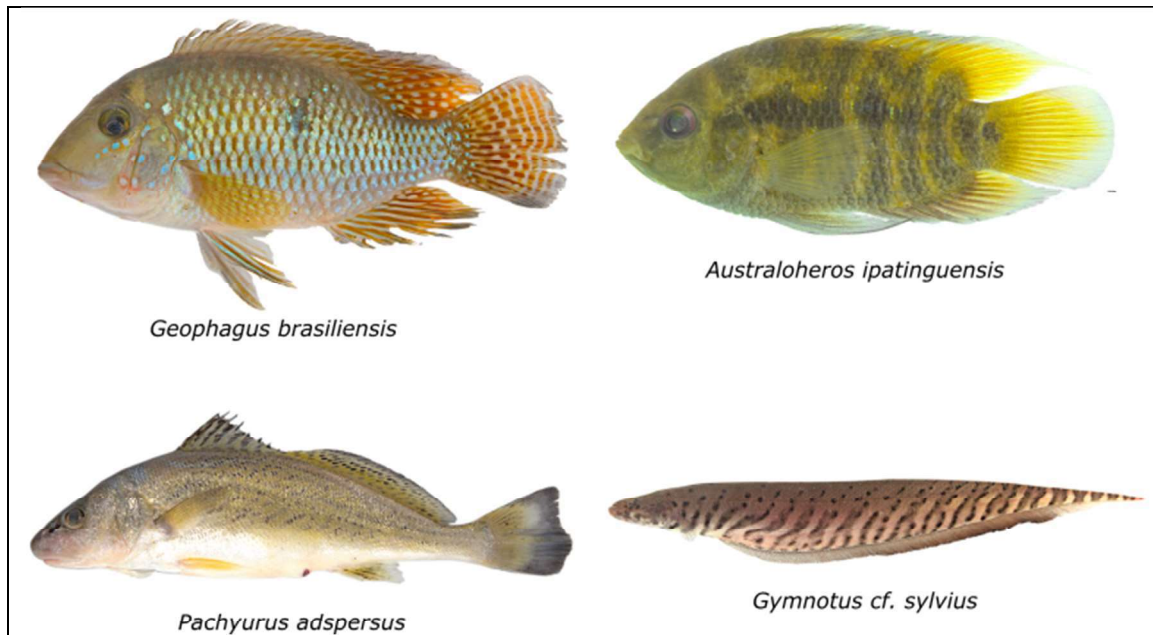


Figura 22. Algumas espécies pertencentes às ordens Cichliformes, Perciformes e Gymnotiformes que foram registradas na bacia do rio Doce.

A NEW SMALL-SIZED *PAREIORHAPHIS* (SILURIFORMES: LORICARIIDAE) FROM THE MANHUAÇU RIVER, DOCE RIVER BASIN, MINAS GERAIS STATE, EASTERN BRAZIL

Description: Standard length of measured specimens 35.2–45.4 mm SL. Overall view of body in figure 23. Small-sized loricariid with body short and strongly flattened dorsoventrally. Greatest body width at posterior portion of cheek, progressively tapering to end of caudal peduncle. Dorsal profile of body slightly convex, gently elevating from snout tip to anterior margin of parieto-supraoccipital, almost straight from that point to dorsal-fin origin, straight to slightly concave from that point to origin of adipose fin, and slightly concave from adipose spine to caudal-fin base. Greatest body depth immediately anterior to dorsal-fin origin. Least body depth at shallowest portion of caudal peduncle. Trunk and caudal peduncle mostly oval in cross-section, flattened ventrally and more compressed caudally. Lateral-line canal in median series uninterrupted, with pored tubes visible from compound pterotic to caudal-fin base. Ventral profile of body almost straight from snout tip to pelvic girdle, slightly elevating posteriorly along anal-fin base, and almost straight along caudal peduncle. Dorsolateral surface of body covered by dermal plates except for narrow naked

area around dorsal-fin base and small naked area overlaying opening of swim bladder capsule, posteroventrally to compound pterotic. Predorsal plates sometimes arranged in two or three pairs of irregular transverse rows. Five rows of lateral dermal plates covering body, not forming keels. Distinct rows of short bristle-like hypertrophied odontodes extending along the lateral surface of body in adult males. Dorsal series of lateral plates starting anteriorly at vertical through dorsal-fin origin. Mid-dorsal and mid-ventral series of lateral plates incomplete, ending 4-6 plates before caudal-fin base, without or with very weak keels. Median series of lateral plates bearing lateral-line canal, with pored tubes visible from posterior margin of compound pterotic to caudal-fin base. Small naked area just posterior to compound pterotic with one or two bony canals. Plates of ventral series supporting bristle-like odontodes in adult males, slightly more developed than remain series of lateral plates, and forming distinct keel along lateroventral portion of caudal peduncle. Lower surface of head, portion from pelvic-fin insertion to anal- fin origin, and region around urogenital opening naked. Abdomen almost completely naked, except for small platelets embedded in skin on pectoral girdle. Platelets irregularly arranged occupying entire extension of ventral surface of pectoral girdle, forming continuous line. Anterior portion of first anal-fin pterygiophore covered by skin, not exposed. Anus positioned between pelvic fins and anal-fin origin, slightly closer to later. Arrector fossae of pectoral girdle opened laterally.

Head broad and depressed, snout round in dorsal view. Interorbital space flat to slightly concave. Three weakly elevated ridges between orbits and snout tip formed by underlying bones. Central ridge from snout tip to area between nostrils; outer ridges slightly more prominent from anterior border snout to upper margins each orbit. Ridges ornamented with short hypertrophied odontodes directed upward in adult males. Snout tip with small, ovoid area of naked skin, devoid of odontodes; rostral plate absent. Preopercle exposed laterally, ornamented with delicate hypertrophied odontodes in adult males. Sensory canal passing from preopercle to intermediate plate and then to canal cheek plate; sensory canal branched in cheek plate. Opercle and lateral process of cleithrum with few short hypertrophied odontodes. Adult males with well-developed soft fleshy lobes extending along lateral and sometimes anterior portions of head.

Soft fleshy area of cheek densely ornamented with short, laterally projected hypertrophied odontodes. Margins of head covered with minute odontodes in females and immature males. Eye small, dorsolaterally placed; orbit diameter 9.8–12.1% of head length. Iris operculum absent or very small, pupil mostly circular. Nares ovoid, slightly longer than wide, positioned slightly closer to anterior margin of orbit than snout tip.



Figura 23. Fotografia de exemplar mostrando a coloração ainda em vida da nova espécie.

Oral disk roughly circular; lips well developed, occupying most of ventral surface of head. Upper lip narrow, covered with small papillae, varying in shape from round to slightly elongated. Lower lip wide and long, almost reaching anterior margin of pectoral girdle. Median portions of lower lip densely covered by distinctly shaped papillae. Oral papillae coalesced and elongated longitudinally; surrounded by narrow naked areas, followed by narrow smooth band devoid of papillae preceding lip margin. Posterior edge of lower lip smooth. Maxillary barbel absent. Both premaxillary and dentary tooth series distinctly straight, without angled mesial ends. Contralateral dentary tooth series separated medially by small gap. Teeth slender, asymmetrically bifid. Medial cusp long and pointed, slightly curved inwards; lateral cusp small and pointed, usually not reaching half of medial cusp in unworn

SOBREPOSIÇÃO DE NICHOS TRÓFICOS DE UM PAR DE ESPÉCIES NATIVA E NÃO NATIVA NA BACIA DO RIO DOCE

Foram analisados 71 estômagos de ambas as espécies em dois pontos (IBIRD13 e IBIRD1), sendo 53 estômagos de *Knodus moenkhausii* e 18 de *Deuterodon cf. taeniatus*. Na Tabela 3 é possível observar os conteúdos que já foram registrados e contabilizados. Dentre os itens alimentares estão insetos autóctones, insetos alóctones, material vegetal, fios de nylon, detritos inorgânicos, entre outros.

Tabela 3. Conteúdo estomacal das espécies *Knodus moenkhausii* e *Deuterodon cf. taeniatus* em dois pontos de coleta.

	<i>Knodus moenkhausii</i>	<i>Deuterodon cf. taeniatus</i>
IBIRD 13	<ul style="list-style-type: none"> • Alga filamentosa • Ceratopogonidae • Chironomidae • Coleoptera • Detrito inorgânico • Diptera • Ephemeroptera 	<ul style="list-style-type: none"> • Acari • Alga filamentosa • Ceratopogonidae • Chironomidae • Coleoptera • Detrito inorgânico • Diptera

	<ul style="list-style-type: none"> • Escama • Hymenoptera • Material vegetal • Microplástico • Odonata • Plecoptera • Tipulidae • Trichoptera 	<ul style="list-style-type: none"> • Ephemeroptera • Hemiptera • Hymenoptera • Material vegetal • Microalga • Microplástico • Plecoptera • Trichoptera
IBIRD 01	<ul style="list-style-type: none"> • Alga filamentosa • Chironomidae • Coleoptera • Detrito inorgânico • Diptera • Escama • Hymenoptera • Material vegetal • Microplástico • Ovos • Semente • Simulidae • Trichoptera 	<ul style="list-style-type: none"> • Acari • Alga filamentosa • Barbante • Blattodea • Coleoptera • Detrito inorgânico • Diptera • Hymenoptera • Material vegetal • Microplástico • Ovos • Semente • Trichoptera

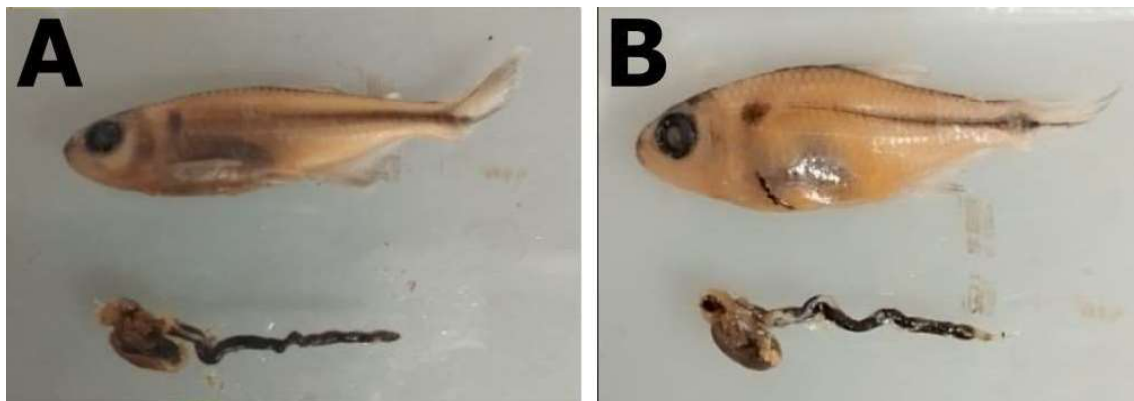


Figura 24. (A) Trato gastrointestinal de *Knodus moenkhausii* e (B) Trato gastrointestinal de *Deuterodon cf. taeniatus*. Fotos: Gabriela M. Ronzani.

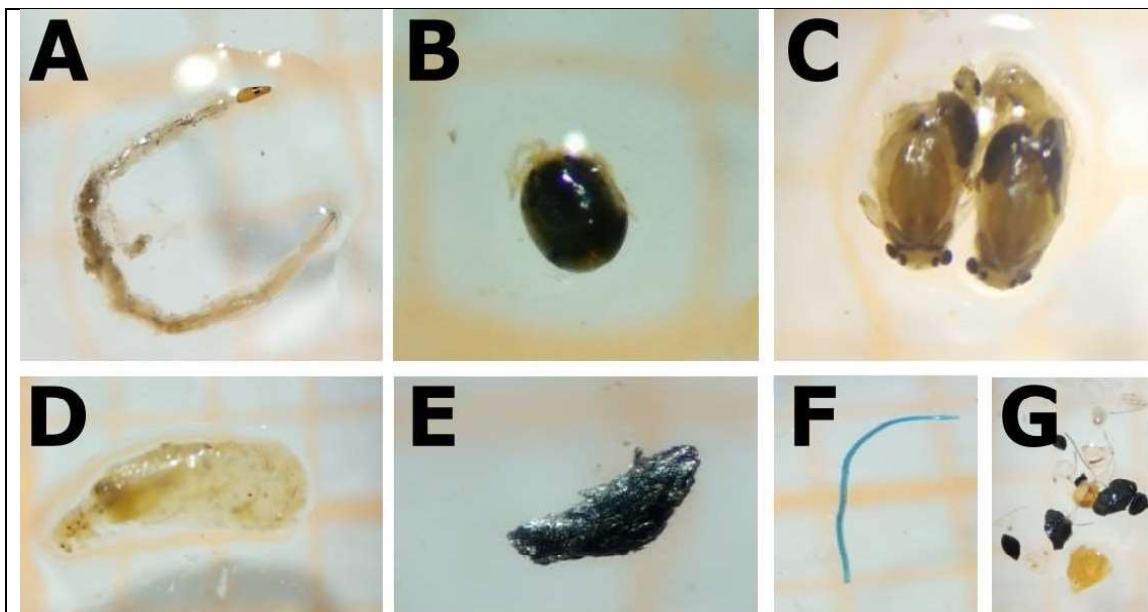


Figura 25. Exemplo de itens registrados nos estômagos de *Knodus moenkhausii* e *Deuterodon cf. taeniatus*. (A) Ceratopogonidae; (B) Acari; (C) Ephemeroptera; (D); Trichoptera em uma casa de folha (E) Detrito inorgânico: provavelmente minério; (F) Microplástico: fio de nylon; (G) Detrito inorgânico: areia/pedras. Fotos: Gabriela M. Ronzani.

7 Informações Complementares

7.1 Indique os pontos positivos e negativos no desenvolvimento do projeto até o momento.

Como pontos positivos, ressalto a coesão da equipe executora, e a integração com as equipes das demais linhas aprovadas na Chamada. Esta integração se mostra essencial para a otimização dos recursos, além de gerar uma perspectiva interessante de geração de produtos científicos de alta qualidade, e respostas mais conclusivas às demandas da sociedade sobre o estado do Rio Doce após o desastre.

Como ponto negativo, destaco a demora na implementação do projeto. Outro ponto negativo é a escassez de informações pretéritas ao desastre, dificultando avaliações conclusivas do tipo “antes-depois”. Por fim, o longo tempo decorrido após o desastre dificulta a identificação de relações causais claras entre o

desastre e o estado atual da fauna aquática do Rio Doce. Estamos buscando o máximo de informação possível sobre a condição histórica da ictiofauna da bacia, mas essa é extremamente escassa.

7.2 Relate, se houver, as principais dificuldades encontradas na execução do projeto e como foram ou estão sendo resolvidas.

Além das dificuldades relatadas nos RMMs anteriores relacionadas ao atraso na implementação do projeto e à pandemia de Covid-19, neste último ano, nossa maior dificuldade para a execução do projeto vem sendo a enorme demora na aprovação das SAPs submetidas à FAPEMIG relacionadas às alterações de utilização de recursos (Formulário 48). Mais do que isso, está faltando comunicação. Venho enviando mensagens por e-mail e pelo canal de comunicação dentro do sistema Everest, mas tais mensagens são simplesmente ignoradas. Submetemos uma SAP em março de 2023, e outras duas em setembro de 2023. Todas já haviam sido pré-aprovadas pela Renova antes do envio. Até o momento, não obtivemos nenhuma resposta da FAPEMIG. Esse atraso levou à perda de material biológico por atingir o prazo de validade para análises genéticas confiáveis. Ou seja, utilizamos recursos financeiros, longo tempo da equipe em campo, sacrificamos centenas de exemplares de peixes oriundos de uma ictiofauna já bastante depauperada e, por questões puramente burocráticas, parte do material biológico está sendo jogada no lixo. Associado a essa perda de material biológico, perdemos uma parceria internacional altamente promissora, com um dos principais pesquisadores do mundo em “Landscape Genetics”, tema central para respondermos questões de grande importância no contexto dos impactos do rompimento da barragem de Fundão sobre a biodiversidade do Rio Doce.

Outra grande dificuldade é a demora do repasse do recurso aditivo acordado com a RENOVA para compensação de distorções oriundas da inflação e aumento do dólar. Tal atraso levou à necessidade de amplas mudanças no planejamento financeiro do projeto. Também deve-se ressaltar a resistência da

Renova em atender ao pleito dos coordenadores relativo ao reajuste das bolsas para equiparação com os reajustes ocorridos nas agências federais e estaduais. Tais fatos estão levando à necessidade de profundos rearranjos internos no projeto no que diz respeito à utilização dos recursos. Tivemos que “sacrificar” diversos itens de custeio e capital, inclusive equipamentos muito importantes para a pesquisa corrente, para manter o andamento do projeto de forma minimamente adequada.

A combinação dos fatores associados aos problemas com a Fapemig e com a Renova estão desestimulando e impossibilitando a execução de atividades planejadas e, conseqüentemente, impossibilitando alcançar importantes metas inicialmente acordadas.

8 Avaliação dos partícipes

8.1 Avalie o relacionamento com a FAPEMIG durante o desenvolvimento do projeto.

Muito Satisfeito Satisfeito Indiferente Insatisfeito Muito insatisfeito

Comente sua resposta

Neste último ano, o relacionamento com a FAPMIG foi, de fato, extremamente complicado. O principal fator para tal insatisfação é a enorme demora na aprovação das SAPs relacionadas às alterações de utilização de recursos (Formulário 48). Mais do que isso, está faltando comunicação. Venho enviando mensagens por e-mail e pelo canal de comunicação dentro do sistema Everest, mas tais mensagens são simplesmente ignoradas. Submetemos uma SAP em março de 2023, e outras duas em setembro de 2023. Todas já haviam sido pré-aprovadas pela Renova antes do envio. Até o momento, não obtivemos nenhuma resposta da FAPEMIG.

Esse atraso levou à perda de material biológico por atingir o prazo de validade para análises genéticas confiáveis. Ou seja, utilizamos recursos financeiros, longo tempo da equipe em campo, sacrificamos centenas de exemplares de peixes oriundos de uma ictiofauna já bastante depauperada e, por questões puramente burocráticas, parte do material biológico está sendo jogada no lixo.

Associado a essa perda de material biológico, perdemos uma parceria internacional altamente promissora, com um dos principais pesquisadores do mundo em “Landscape Genetics”, tema central para respondermos questões de grande importância no contexto dos impactos do rompimento da barragem de Fundão sobre a biodiversidade do Rio Doce. Ressalto que todo o histórico de mensagens por email com a FAPEMIG está gravado, para que tenhamos evidências de que não será possível alcançar importantes metas inicialmente acordadas.

8.2 Avalie o relacionamento com a Renova durante o desenvolvimento do projeto.

Muito Satisfeito **Satisfeito** **Indiferente** **Insatisfeito** **Muito insatisfeito**

Comente sua resposta

Apesar de parecer ter havido maior agilidade no processo de pré-aprovação de SAPs, vem ocorrendo algumas confusões no esclarecimento de dúvidas. Além disso, a demora na implementação do recurso aditivo (para compensação de distorções oriundas da inflação e aumento do dólar) levou a necessidade de amplas mudanças no planejamento financeiro do projeto. Por fim, deve-se ressaltar a resistência da Renova em atender ao pleito dos coordenadores relativo ao reajuste das bolsas para equiparação com os reajustes ocorridos nas agências federais e estaduais. Tais fatos estão

levando à necessidade de profundos rearranjos internos no projeto no que diz respeito à utilização dos recursos e, conseqüentemente, ao andamento das atividades e cumprimento das metas acordadas.

8.3 Avalie o relacionamento com a instituição Executora durante o desenvolvimento do projeto.

Muito Satisfeito **Satisfeito** **Indiferente** **Insatisfeito** **Muito insatisfeito**

Comente sua resposta

A UFMG tem dado suporte de forma ágil e adequada, sempre que necessário.

8.4 Avalie o relacionamento com a Fundação de Apoio durante o desenvolvimento do projeto.

Muito Satisfeito **Satisfeito** **Indiferente** **Insatisfeito** **Muito insatisfeito** **Não se aplica**

Comente sua resposta

Atualmente contamos com a Sarah Santos de Oliveira Alves, a analista mais competente com a qual já trabalhei na FUNDEP. Portanto, apesar dos problemas relacionados a FUNDEP relatados nos relatórios anteriores, com a mudança de analista, estes estão atualmente sendo solucionados.

9 Conclusões

O projeto vem gerando conhecimento sobre diversos aspectos ecológicos da ictiofauna da bacia do Rio Doce, incluindo: padrões de distribuição espacial da

ictiofauna nativa e não nativa; padrões de recolonização da calha do Rio Doce após o rompimento da barragem de Fundão; identificação de padrões de diversidade, em múltiplas facetas (taxonômica, funcional) e escalas (alfa, beta e gama); e mecanismos ecológicos refinados associados à erosão da biodiversidade frente aos múltiplos impactos antrópicos na bacia (mineração, alteração da paisagem, invasões biológicas).

10 Referências Bibliográficas e Declarações ⁵

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). RIO DOCE. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/sala-de-situacao/rio-doce/rio-doce-saiba-mais>.

Agostinho AA, Gomes LC, Santos NC, Ortega JC, Pelicice FM (2016) Fish assemblages in Neotropical reservoirs: Colonization patterns, impacts and management. *Fisheries Research* 173: 26–36.

ANA (2016) Encarte especial sobre a bacia do rio Doce: Rompimento da barragem em Mariana. Agência Nacional de Águas/Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF, Brasil

ANA (2023) Hidroweb: séries históricas de estações. Hidroweb. Available from: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas?codigoEstacao=41340000> (March 15, 2023).

Assumpção L, Makrakis MC, Silva JFM da, Moraes KAS de, Pini SFR, Silva PS da, Kashiwaqui EAL, Gentil E, Souza-Shibatta L, Shibatta OA (2021) Deep pools: ecological sanctuaries for *Steindachneridion melanodermatum*, a large endemic and endangered pimelodid of the Iguaçu River. *Water* 13: 1700.

Baselga A. (2010). Partitioning the turnover and nestedness components of beta diversity. *Global ecology and biogeography*, 19(1), 134-143.

Bizerril CRSF, da Silveira Primo PB (2001) Peixes de águas interiores do Estado do Rio de Janeiro. Fundação de Estudos do Mar.

Blackburn TM, Pyšek P, Bacher S, Carlton JT, Duncan RP, Jarošík V, Wilson JRU, Richardson DM (2011) A proposed unified framework for biological invasions. *Trends in Ecology & Evolution* 26: 333–339. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2011.03.023>

⁵ As referências devem seguir as normas da ABNT.

Brown JH. (1984). On the relationship between abundance and distribution of species. *The american naturalist*, 124(2), 255-279.

Bueno ML, Magalhães ALB, Andrade Neto FR, Alves CBM, Rosa DM, Junqueira NT, ... Zenni RD. (2021). Alien fish fauna of southeastern Brazil: species status, introduction pathways, distribution and impacts. *Biological Invasions*. doi:10.1007/s10530-021-02564-x

Cardinale BJ, Palmer MA, Collins SL. (2002). Species diversity enhances ecosystem functioning through interspecific facilitation. *Nature*, 415(6870), 426–429. doi:10.1038/415426a

Carolsfeld J, Harvey B, Ross C, Baer A (2003) *Migratory fishes of South America*. World Fisheries Trust, Victoria, BC.

Carvalho DR, Castro DMP, Callisto M, Chaves AJM, Moreira MZ, Pompeu PS (2019a) Stable isotopes and stomach content analyses indicate omnivorous habits and opportunistic feeding behavior of an invasive fish. *Aquat Ecol* 53(3):365–381. <https://doi.org/10.1007/s10452-019-09695-3>

Carvalho DR, Flecker AS, Alves CBM, Sparks J, Pompeu PS. (2019b) Trophic responses to aquatic pollution of native and exotic livebearer fishes. *Sci Total Environ*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.092>

Carvalho DR, Leal CG, Junqueira NT, Castro MA, Fagundes DC, Alves CBM, Hughes, R, Pompeu PS. (2017) A fishbased multimetric index for Brazilian savanna streams. *Ecol Indic* 77:386–396

Chapin III FS, Zavaleta ES, Eviner VT, Naylor RL, Vitousek PM, Reynolds HL, ... Díaz S. (2000). Consequences of changing biodiversity. *Nature*, 405(6783), 234-242.

Coimbra KTO, Alcântara E, de Souza Filho CR (2020) Possible contamination of the Abrolhos reefs by Fundao dam tailings, Brazil–New constraints based on satellite data. *Science of the Total Environment* 733: 138101.

Crooks JA. (2005). Lag times and exotic species: The ecology and management of biological invasions in slow-motion1. *Écoscience*, 12(3), 316–329. doi:10.2980/i1195-6860-12-3-316.1

Cucherousset J, Olden JD. (2011). Ecological Impacts of Nonnative Freshwater Fishes. *Fisheries*, 36(5), 215–230. doi:10.1080/03632415.2011.574578

Drummond GM, Subirá RJ, Martins CS (2021) Livro vermelho da biota aquática do Rio Doce ameaçada de extinção pós-rompimento da barragem de Fundão: Mariana, Minas Gerais. Biodiversitas, Belo Horizonte, MG, Brasil.

Dudgeon D, Arthington AH, Gessner MO, Kawabata Z, Knowler DJ, Lévêque CL, Naiman RJ, Prieur-Richard A, Soto D, Stiassny MLJ, Sullivan CA. (2006).

Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews* 81:163–182.

EPA/620/R-06/003. Washington, DC: U.S.Environmental Protection Agency.

Escobar H (2015) Mud tsunami wreaks ecological havoc in Brazil.

Espósito TJ, Duarte AP (2010) Classificação de barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais em relação a fatores de risco. *Rem: Revista Escola de Minas* 63: 393–398.

Gause GF, Nastukova OK, Alpatov WW. (1934). The Influence of Biologically Conditioned Media on the Growth of a Mixed Population of *Paramecium caudatum* and *P. aureliax*. *The Journal of Animal Ecology*, 3(2), 222. doi:10.2307/1145

Giacomini HC, Lima Jr DP, Latini AO, Espírito-Santo HMV (2011) Spatio-temporal segregation and size distribution of fish assemblages as related to non-native species occurrence in the middle rio Doce Valley, MG, Brazil. *Neotropical Ichthyology* 9: 135–146.

Godinho AL. (1996). Peixes do Parque Estadual do Rio Doce. Belo Horizonte: Instituto Estadual de Florestas/Universidade Federal de Minas Gerais, 1, 48.

Grinnell J. (1917). The Niche-Relationships of the California Thrasher. *The Auk*, 34(4), 427–433. doi:10.2307/4072271

Hermoso V, Clavero M, Blanco-Garrido F, Prenda J. (2011). Invasive species and habitat degradation in Iberian streams: an analysis of their role in freshwater fish diversity loss. *Ecological applications*, 21(1), 175-188.

Hubbell SP. (2005). Neutral theory in community ecology and the hypothesis of functional equivalence. *Functional ecology*, 19(1), 166-172.

Hutchinson J. (1959). The families of flowering plants. II. Monocotyledons. 2nd Edn.. . Oxford: Clarendon Press.

ICMBio (2018) Peixes Livro vermelho da fauna brasileira ameaçada de extinção. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, Brasília, DF, Brasil, 1235 pp.

IGAM (2023a) Água Superficial - Apresentação. Monitoramento de Qualidade das Águas. Available from: <https://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/> (April 17, 2023).

IGAM (2023b) Relatório Emergencial do Rio Doce. Monitoramento de Qualidade das Águas. Available from: <http://repositorioigam.meioambiente.mg.gov.br/handle/123456789/462> (April 17, 2023).

Jucá-Chagas R, Boccardo L (2006) The air-breathing cycle of *Hoplosternum littorale* (Hancock, 1828)(Siluriformes: Callichthyidae). *Neotropical Ichthyology* 4: 371–373. <https://doi.org/10.1590/S1679-62252006000300009>

Leal, L. B.; et al. (2021). Changes in ecosystem functions generated by fish populations after the introduction of a non-native predator (*Cichla kelberi*) (Perciformes: cichlidae). *Neotropical Ichthyology*, [S.L.], v. 19, n. 3, p. 1-22, FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1982-0224-2021-0041>

Leitão RP, Zuanon J, Mouillot D, Leal CG, Hughes RM, Kaufmann PR, ... Gardner TA. (2018). Disentangling the pathways of land use impacts on the functional structure of fish assemblages in Amazon streams. *Ecography*, 41(1), 219-232.

Lima Jr DP, Latini AO (2016) Facilitation underpinning the success of the non-native catfish *Hoplosternum littorale* (Callichthyidae) in lakes of the Middle Doce River Basin, southeastern Brazil. *Lundiana: International Journal of Biodiversity* 12: 27–38.

Loreau M. (2001). Biodiversity and Ecosystem Functioning: Current Knowledge and Future Challenges. *Science*, 294(5543), 804–808. doi:10.1126/science.1064088

MacArthur RH, Levins R. (1967) The limiting similarity, convergence and divergence of coexisting species. *American Naturalist*, 101, 377-385. <http://dx.doi.org/10.1086/282505>

Manna L, Rezende C, Mazzoni R. (2012). Plasticity in the diet of *Astyanax taeniatus* in a coastal stream from south-east Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 72(4), 919–928. doi:10.1590/s1519-69842012000500020

Meyerson LA, Simberloff D, Boardman L, Lockwood JL. (2019). Toward “Rules” for Studying Biological Invasions. *Bull Ecol Soc Am* 100(4):e01607. <https://doi.org/10.1002/bes2.1607>

Neves ACO, Nunes FP, de Carvalho FA, Fernandes GW (2016) Neglect of ecosystems services by mining, and the worst environmental disaster in Brazil. *Natureza & Conservação* 14: 24–27.

Ortega JCG, Bacani I, Dorado-Rodrigues TF, Strüssmann C, Fernandes IM, Morales J, Mateus L, Silva HP, Penha J.. (2021). Effects of urbanization and environmental heterogeneity on fish assemblages in small streams. *Neotropical Ichthyology*, 19(3), e210050. <https://doi.org/10.1590/1982-0224-2021-0050>

Peck D, Herlihy A, Hill B, Hughes R, Kaufmann P, Klemm D, Lazorchak J, McCormick F, Peterson S, Ringold P, Magee T, Cappaert M. (2006). Monitoring and Assessment Program — Surface Waters Western Pilot Study: field operations manual for wadeable streams.

Pompeu PS, Martinez CB (2006) Variações temporais na passagem de peixes pelo elevador da Usina Hidrelétrica de Santa Clara, rio Mucuri, leste brasileiro.

Revista Brasileira de Zoologia 23: 340–349. <https://doi.org/10.1590/S0101-81752006000200005>

Rosenfeld JS. (2002). Functional redundancy in ecology and conservation. *Oikos*, 98(1), 156–162. doi:10.1034/j.1600-0706.2002.980116.x

Salvador GN, Leal CG, Brejao GL, Pessali TC, Alves CBM, Rosa GR, Ligeiro R, de Assis Montag LF (2020) Mining activity in Brazil and negligence in action. *Perspectives in ecology and conservation* 18: 139–144.

Salvador GN, Montag LF, Hughes RM, Almeida SM, Prudente BS, Pessali TC, Barroso TA, Cianciaruso MV, Ligeiro R, Juen L (2022) Influences of multiple anthropogenic disturbances coupled with a tailings dam rupture on spatiotemporal variation in fish assemblages of a tropical river. *Freshwater Biology* 67: 1708–1724.

Schoener TW. (1983). Field Experiments on Interspecific Competition. *The American Naturalist*, 122(2), 240–285. doi:10.1086/284133

Souza CP, Rodrigues-Filho CAS, Barbosa FAR, Leitão RP (2021) Drastic reduction of the functional diversity of native ichthyofauna in a Neotropical lake following invasion by piscivorous fishes. *Neotropical Ichthyology* 19.

Souza CP. (2022). Alterações da paisagem são indicadoras da ocorrência de peixes não nativos na bacia Do Rio Doce? Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre do Instituto de Genética, Ecologia e Evolução da Universidade Federal de Minas Gerais.

Tilman D. (1997). The Influence of Functional Diversity and Composition on Ecosystem Processes. *Science*, 277(5330), 1300–1302. doi:10.1126/science.277.5330.1300

Toft CA. (1985). Resource Partitioning in Amphibians and Reptiles. *Copeia*, 1985(1), 1. doi:10.2307/1444785

Vieira F (2009) Distribuição, impactos ambientais e conservação da fauna de peixes da bacia do rio Doce. *MG Biota* 2: 5–22.

Vieira F, Gomes J, Maia B, Silva L (2015) Peixes do Quadrilátero Ferrífero: guia de identificação. Belo Horizonte, MG, Brasil, 208 pp.

Vitule JRS, Freire CA, Simberloff D. (2009). Introduction of non-native freshwater fish can certainly be bad. *Fish and fisheries*, 10(1), 98-108.

Whittaker RH. (1972). Evolution and measurement of species diversity. *Taxon*, 21(2-3), 213-251.

Zeni JO, Pérez-Mayorga MA, Roa-Fuentes CA, Brejão GL, Casatti L. (2019). How deforestation drives stream habitat changes and the functional structure of fish

assemblages in different tropical regions. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 29(8), 1238-1252.

Atesto a veracidade de todas as informações fornecidas neste relatório parcial.

Nome: Rafael Pereira Leitão

Data: 05/11/2023

Assinatura:

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Rafael Pereira Leitão', with a stylized flourish at the end.

Este formulário deverá ser obrigatoriamente assinado pelo coordenador do projeto, e encaminhado à FAPEMIG por meio de Peticionamento Eletrônico, via Sistema Eletrônico de Informações – SEI! do Estado de Minas Gerais (<https://www.sei.mg.gov.br/usuarioexterno>), do tipo “FAPEMIG – Prestação de Contas Técnica-Científica”.

Ressalta-se que deverão ser anexados ao processo de Peticionamento Eletrônico todas as evidências que comprovem a realização das atividades. Gentileza

inserir o número do processo no campo “Especificação” do Peticionamento Eletrônico.

Eventuais dúvidas podem ser esclarecidas pelo e-mail monitoramento@fapemig.br.

Caso seja necessário ajustar o cronograma submetido no início do projeto, o coordenador deverá encaminhar as alterações pretendidas por meio do formulário próprio, via Sistema Everest, para a análise do setor competente.

Departamento de Monitoramento e Avaliação de Resultados - DMA / FAPEMIG